ENDEAVOUR

Revue trimestrielle destinée à tenir registre
du progrès des sciences au service
du genre humain

VOLUME X Janvier 1951 NUMÉRO 37

SOMMAIRE

Article de Tête: A la mémoire d'Ernest Rutherford 3

550.93:56.017:581.524.3/.4
L'analyse pollinique — H. GODWIN — 5

536.461:535.338
Structure et rayonnement des flammes — A. G. GAYDON — 17

591.34:591.147
Hormones et métamorphoses des insectes — V. B. WIGGLESWORTH — 22

591.339:576.8.097.5
Le transfert d'anticorps par le placenta — R. M. CALMAN et JOHN MURRAY — 27

576.356.5:591.166:595.799
La sexualité chez l'abeille — ANN R. SANDERSON et D. W. HALL — 33

541.123.5:541.183
La nature des échangeurs d'ions — E. GLUECKAUF — 40

92:542
John Warltire, «un bon chimiste» — DOUGLAS McKIE — 46

551.21
Naissance et évolution d'un volcan — FREDERICK H. POUGH — 50

049.3
Revue des livres 55

Livres reçus 57

Notes biographiques sur les collaborateurs 58

Rédacteur en chef: E. J. HOLMYARD, M.A., M.Sc., D.Litt., F.R.I.C.
Rédacteur adjoint: TREVOR I. WILLIAMS, B.A., B.Sc., D.Phil.
Pour les éditions étrangères: J. A. WILCKEN, B.Sc., Ph.D.

Imperial Chemical Industries, Nobel House, Buckingham Gate, Londres, S.W.1
Prière d'adresser toute correspondance à la rédaction, 26 Dover Street, Londres, W.1

A la mémoire d'Ernest Rutherford

L'œuvre d'Ernest Rutherford offre l'apparence de simplicité qui caractérise la vraie grandeur. Pour qu'un homme de science soit comblé de gloire et d'honneurs il suffirait qu'il ait mis en valeur les idées de son temps et élargi le domaine de la science par de savantes hypothèses et des efforts constants. Tout autre est le mérite de Rutherford: il a découvert, dans l'infinie petitesse de l'atome, un monde nouveau d'une complexité inattendue qu'ont révélé des recherches brillamment conçues et audacieusement poursuivies, et qu'une légion d'hommes de génie étudient actuellement. Il y a cinquante ans que Soddy et Rutherford émirent l'hypothèse qu'ils devaient bientôt démontrer irréfutablement, que les atomes se désintègrent en libérant l'énergie qu'ils recèlent. Depuis lors jusqu'au jour où il vit s'accomplir la transmutation artificielle des atomes et la fission du noyau, que ses efforts opiniâtres avaient rendus possibles, il s'attacha à faire rejeter les idées reçues et à rassembler une somme de connaissances d'une importance transcendante. Arrivé au terme de sa vie il aurait pu rééditer la fière prophétie du poète des Odes: J'ai élevé un monument plus durable que l'airain. Horace prévoyait une renommée qui ne durerait qu'aussi longtemps que les Vestales entretiendraient le feu sacré du Capitole; de même, celle de Rutherford durera autant que notre civilisation, et lui survivra sans doute.

Si donc la Société Royale fait aujourd'hui un appel de fonds pour élever un monument à ce grand homme, c'est afin de rendre un pieux hommage à sa mémoire plutôt que pour préserver de l'oubli sa renommée si solidement bâtie sur son œuvre; pour encourager un dessein que Rutherford eût apprécié plutôt que pour apprécier Rutherford lui-même. Sans doute Rutherford avait-il toutes ses facultés tendues vers une seule fin: découvrir le secret de la structure de l'atome et de ses mutations, et il possédait à un très haut degré cette puissance de concentration que Newton exprimait ainsi: «Je ne perds pas de vue l'objet, tandis que la première lueur se transforme lentement en un jour resplendissant». Rutherford toutefois se rapprochait davantage de l'homme moyen, était sociable, et humain en ce sens qu'il prenait plaisir au commerce de ses semblables, même à des conflits amicaux. Dès le début de sa carrière universitaire il se révéla un chef de laboratoire parfait, aimait à s'entourer d'ardents disciples, jeunes ou vieux, à qui il communiquait ses projets et son enthousiasme. Il ne se serait pas volontiers isolé pour travailler, comme Cavendish et plus récemment Rayleigh: il lui fallait le stimulant, d'ailleurs réciproque, de la collaboration. Un autre aspect humain de son caractère était son amour pour sa patrie, la Nouvelle-Zélande, et le Commonwealth en général. Elevé à la pairie, il prit le titre de Baron Rutherford de Nelson en hommage à Nelson, sa ville natale. Sa carrière de professeur commença à Montreal où il vécut des années heureuses et fécondes. Le Canada reconnaît sa dette envers Rutherford et celui-ci, en revanche, ne cessait de proclamer ce qu'il devait au Canada. L'Australie et l'Afrique du Sud bénéficièrent aussi de son affectueuse sollicitude. Les jeunes chercheurs et les pays du Commonwealth ont donc tenu une grande place dans la vie de Rutherford; c'est sans nul doute ce qui a guidé les membres du Comité de la Société Royale dans leur choix de la manière dont la mémoire de Rutherford devait être honorée. Une heureuse coïncidence a voulu que ce soit le Professeur Oliphant, Australien de naissance, qui présidât le Comité au moment où l'appel a été lancé. Sir H. Tizard qui lui a succédé lors de son récent départ pour l'Australie, a été un ami intime de Rutherford.

L'appel propose d'honorer de deux manières la mémoire de Rutherford: par la fondation de Bourses Rutherford qui permettraient à des étudiants du Commonwealth de suivre des cours post-scolaires, et par des Conférences Commémoratives Rutherford que ferait périodiquement un savant distingué dans certaines universités du Commonwealth hors d'Europe. C'est au moyen d'une bourse d'études que Rutherford lui-même se rendit en Angleterre pour travailler dans l'ambiance vivifiante du laboratoire de J. J. Thomson. Il est hors de doute qu'il aurait approuvé un tel projet visant à permettre à des jeunes gens qui auront fait leurs preuves, d'étudier en Grande-Bretagne ou ailleurs dans le Commonwealth, car il est stipulé dans le projet qu'un boursier Rutherford pourra étudier partout sauf là où il a pris ses diplômes. D'autre part, un savant éminent, chargé de la Conférence Commémorative Rutherford pourra aller voir sur place, dans les meilleures conditions, le travail qui se fait dans les lointaines

universités, comme Rutherford aimait le faire, et encourager de sa présence et de ses conseils des jeunes gens qui le connaissent déjà de réputation. On ne pourrait guère trouver un meilleur moyen d'encourager la coopération scientifique dans le Commonwealth.

Un projet accessoire est de rassembler la correspondance de Rutherford et la placer dans un lieu central à la disposition des chercheurs sérieux. L'utilité d'une telle mesure se passe de commentaires. L'appel imprimé ne parle pas d'un autre projet qui sera probablement mis en route: celui d'une édition complète, et appropriée à l'occasion, des mémoires et des allocutions de Rutherford, dont les recettes pourront vraisemblablement couvrir par la suite les frais de publication. Une mise de fonds initiale sera néanmoins nécessaire. Tout ce qu'a écrit Rutherford est une source d'inspiration, et même ceux qui connaissent bien son œuvre peuvent s'attendre à trouver dans cette édition complète une foule de détails lumineux qui n'ont pas jusqu'ici figuré dans les périodiques usuels.

Nul ne contestera que le projet de commémoration a été judicieusement établi et mérite l'appui de tous ceux qui ont à cœur les intérêts du Commonwealth aussi bien que ceux de la science. Aux Etats-Unis il avait de nombreuses amitiés. A l'âge de trente ans au sortir d'une séance de l'Association Américaine de Physique, il écrit: «On s'est réuni à l'Université de Columbia et j'ai donné lecture à deux mémoires qui furent bien accueillis, car je suis le seul à explorer le domaine de la radio-activité «provoquée» dans le monde anglo-saxon.» Et désormais ses relations avec l'Amérique sont très amicales. Les noms de Boltwood et d'autres amis figurent très souvent dans la correspondance de Rutherford. Il a dit: le monde anglo-saxon; ne pourrait-on pas ajouter au projet un détail qui ferait ressortir qu'il était aussi bien accueilli aux Etats-Unis qu'au Canada ? Il est certain que ses amis américains répondront généreusement à l'appel et il serait réconfortant de penser qu'un jour un titulaire de la Conférence Commémorative Rutherford en tournée officielle au Canada pourrait prolonger celle-ci au-delà de la frontière.

«Rien, écrit Geiger, ne tonifie autant qu'une heure passée en tête à tête avec Rutherford». Plus personne, hélas, n'aura le bonheur d'en faire l'expérience. Toutefois le projet dont il est ici question aura le grand mérite de faire connaître aux générations futures l'homme qu'a été Rutherford. Une statue, une salle monumentale, ne gardent pas longtemps leur valeur d'évocation. Mais le jeune homme qui bénéficiera d'une bourse à laquelle est attaché le nom de Rutherford se rappellera forcément qu'une bourse semblable a été le point de départ de la carrière du grand homme. Le titulaire de la Conférence Commémorative, au courant certainement de l'œuvre de Rutherford, pourrait même être en train d'en étudier quelque développement. Sa correspondance, vive et sans apprêt, ferait presque entendre sa voix. C'est pourquoi nous recommandons chaudement à nos lecteurs le projet de commémoration, si judicieusement conçu, de la Société Royale.

L'analyse pollinique

H. GODWIN

L'examen des pollens déposés au cours des âges préhistoriques (surtout pendant le Quaternaire) dans les couches de tourbe et de boue renseignent sur la végétation, les variations climatiques; sur le déboisement, les cultures et autres activités humaines, et sur les changements dans la configuration des terres. L'auteur étudie des diagrammes polliniques du Somerset et du lac Pickering, dans le Yorkshire.

PRINCIPES

Une phase essentielle de la reproduction des plantes supérieures par graines est constituée par la formation et la libération préalables des grains de pollen et par leur transport des étamines aux stigmates récepteurs. Dans le vaste ensemble des plantes à fleurs, les mécanismes de pollinisation ont évolué sous l'effet de la pression évolutive dans le sens d'un perfectionnement de ce transport. Le vent est l'agent de dispersion des spores chez les mousses, les fougères et les gymnospermes; comme leurs prédécesseurs dans l'évolution, beaucoup de plantes à fleurs conservent un pollen transporté par le vent (microspores), mais c'est maintenant la pollinisation par les insectes qui l'emporte parmi elles.

Les plantes, même les entomophiles, libèrent dans l'air une grande quantité de pollen au moment de la floraison et la petite taille des grains libérés fait qu'ils tombent si lentement qu'ils peuvent être transportés sur de grandes distances par les courants aériens et atteindre de grandes altitudes dans l'atmosphère. Ce n'est qu'une proportion minime qui atteint les stigmates où ils peuvent germer avec succès. La grande majorité des grains de pollen tombe graduellement et se dépose sur les lacs, les champs de neige, les océans et les terres.

La plupart d'entre eux sont détruits mais dans certains cas, surtout si l'oxygène fait défaut, ils peuvent être enfouis et préservés. C'est ce qui se produit spécialement dans les boues anaérobies du fond des lacs et dans les tourbières en formation. Ces matières, s'accumulant, recouvrent des multitudes de grains de pollen, et constituent millimètre par millimètre des repères successifs de la vie organique durant la période de formation des dépôts. L'importance de l'analyse pollinique réside dans la lisibilité et la permanence de ce document, ainsi que dans les renseignements qu'il peut fournir. Les grains de pollen montrent une variété frappante de caractères qui rend possible l'identification quelquefois de l'espèce, très souvent du genre ou de la famille. Il existe une gamme étendue de tailles et de formes des grains, de nombres, de formes et de dispositions des pores de germination ou des autres ouvertures de la paroi, de structures des parois et de leurs épaisseurs; la morphologie de la surface qui montre souvent des sculptures et des réseaux compliqués et finement dessinés fournit d'autres éléments de détermination.

La paroi interne du grain de pollen ne subsiste pas longtemps mais la paroi externe qui montre tous les caractères mentionnés ci-dessus et dont l'origine et la constitution sont tout à fait différentes, est extrêmement résistante; elle se conserve sans altération apparente, au sein de matériaux appropriés pendant des milliers et même des millions d'années. Des traitements mécaniques et chimiques simples permettent d'isoler à partir de débris de la substance qui les a préservés, ces grains qui sont ensuite concentrés, montés et examinés au microscope.

L'importance des identifications de pollen ainsi faites ne réside pas seulement dans la démonstration de la présence de telles espèces ou tels genres particuliers dans une localité, mais repose surtout sur l'image qu'elles fournissent de la couverture végétale de tout un district ou de toute une région. Les espèces dominantes des grandes formations forestières de l'Europe occidentale sont pour la plupart des arbres à pollinisation éolienne; les graminées et les carex qui dominent d'autres associations très répandues sont aussi pollinisées par le vent; ces espèces sont donc pleinement représentées dans les pluies de pollen et les couches successives d'un dépôt lacustre ou de tourbière peuvent ainsi nous fournir une image de l'évolution de la couverture végétale durant de longues périodes. L'histoire de telles associations majeures est intéressante à beaucoup d'égards. Elles constituaient le cadre où vivaient d'autres plantes et des animaux, de telle sorte que leur connaissance

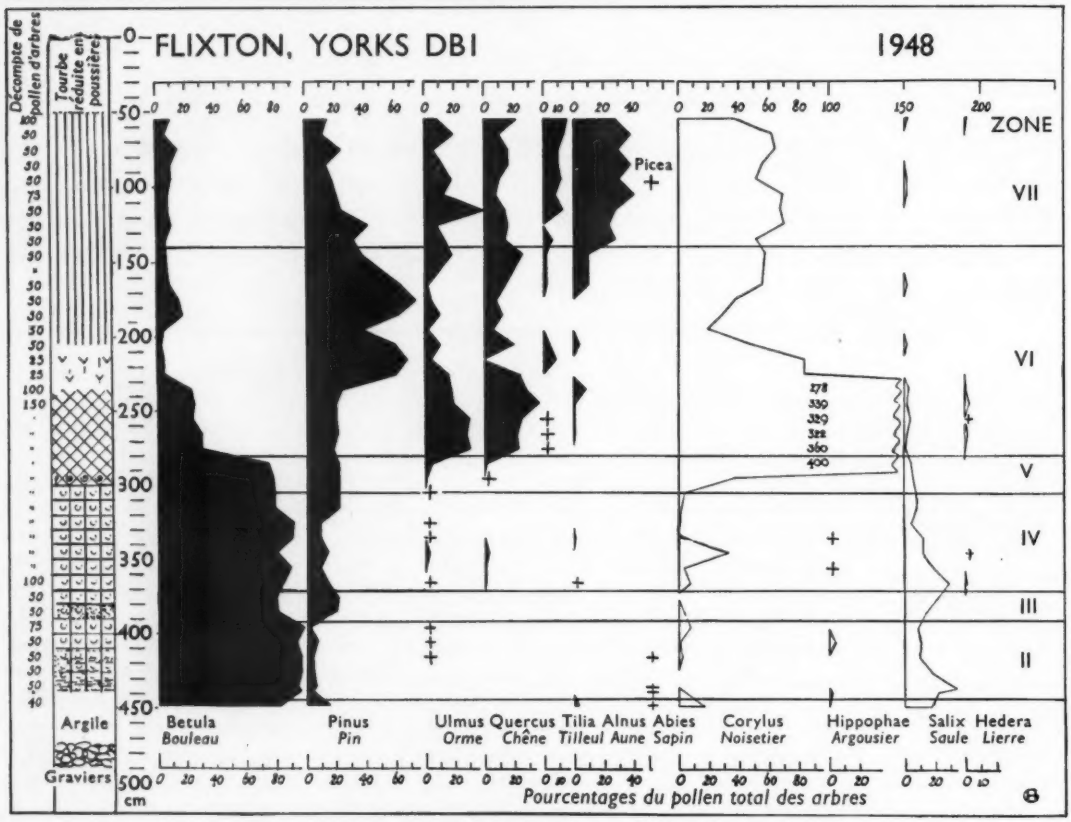


FIGURE 1 – *Diagramme pollinique, Flixton, Yorkshire (pollen d'arbres).*

permet de compléter l'histoire des flores et des faunes européennes. Elles étaient également le lieu d'habitation des races humaines préhistoriques dont les moyens d'existence et la culture dépendaient du cadre naturel.

Considération encore plus importante, ce sont les conditions climatiques qui déterminaient la présence et l'extension de ces associations; l'étude de ces types passés de végétation implique donc l'étude des climats passés. On ne peut supposer aucune autre cause que le climat comme responsable des variations successives que l'on trouve dans les nombreux diagrammes polliniques établis pour l'Europe occidentale et l'Amérique du nord.

La figure 1 montre un diagramme typique donnant le résultat d'une analyse de boues tirées du sol de l'ancien lac Pickering qui s'étendait autrefois entre les Yorkshire Moors et les Wolds. Les échantillons ont été prélevés grâce à une foreuse spéciale à intervalles de 5 à 10 cm. Pour chaque échantillon on a exprimé (faute d'une base absolue) les proportions des différents genres d'arbres en pourcentage du pollen total des arbres. Si nous considérons les résultats dans leur ensemble, il est évident que les dépôts du lac reflètent de profonds changements dans la végétation; après une longue période initiale où domine le pollen de bouleau, on traverse une période où sont représentés l'orme, le chêne et le noisetier (ce dernier en grande abondance), puis une phase où le pin augmente d'importance, enfin une période où les arbres à feuilles caduques: chêne, orme, tilleul et aune, formant la chênaie mixte, l'emportent largement sur le pin et le bouleau. Nous pouvons supposer que le pollen représente d'une manière grossière les proportions des arbres dont il dérive et il est évident que cette série d'échantillons montre la réponse de la végétation à l'amélioration climatique qui a suivi la dernière période glaciaire. Les couches supérieures du dépôt lacustre manquent par suite de l'érosion, sinon nous devrions y voir aussi la trace de la régression climatique aboutissant au climat actuel plus froid. Ces faits

sont représentés dans le diagramme de Somerset (figure 2).

Aussi intéressant que puisse être ce diagramme en lui-même, sa valeur se trouve très augmentée quand on le rapproche d'autres diagrammes tirés de dépôts appropriés répartis à travers toute la Grande-Bretagne ou toute l'Europe occidentale. On constate en effet que ces diagrammes se correspondent les uns aux autres d'une manière vraiment extraordinaire et nous fournissent un moyen pratique de reconnaître sur de grandes étendues, des zones de végétation équivalentes.

Même si nous ne pouvions reconnaître l'origine d'aucun grain de pollen, nous pourrions les repérer par des lettres ou par des nombres et posséder ainsi un instrument scientifique de grande valeur. En effet, l'ubiquité de ces microfossiles et la régularité des changements dans leur fréquence, nous procure manifestement une échelle de temps sur laquelle nous pouvons reporter tous les événements des périodes pour lesquelles on connaît des dépôts contenant du pollen. Mais nous connaissons l'identité de nombreux grains et ceci nous donne en plus le pouvoir de retracer l'histoire de la végétation et du climat.

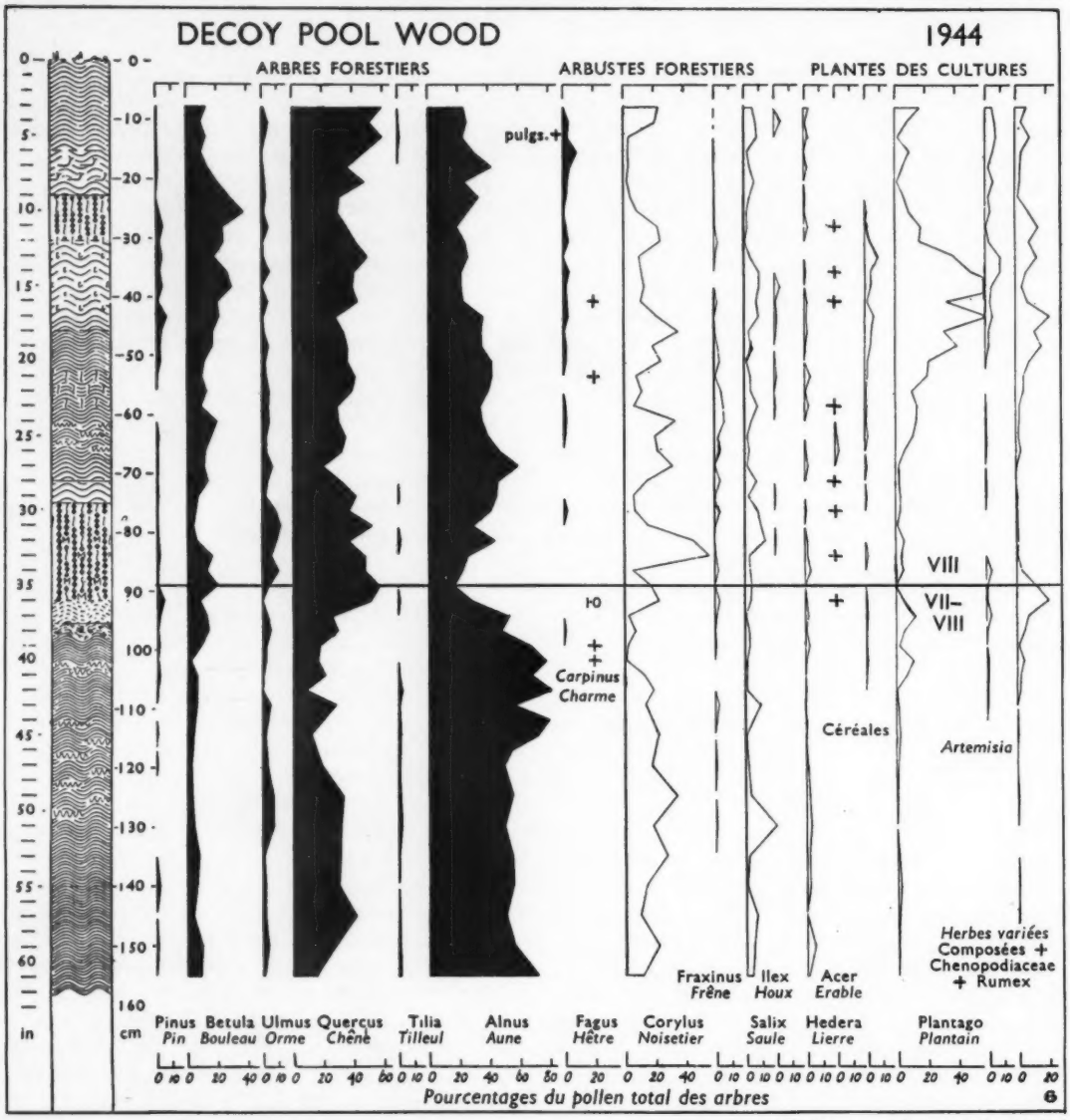
Il se trouve en plus que les périodes auxquelles on peut appliquer le plus facilement l'analyse pollinique sont précisément les périodes post-glaciaires et inter-glaciaires où les échelles chronologiques ont jusqu'à maintenant été défaillantes; en effet, le temps qu'elles recouvrent a été trop court pour permettre l'évolution et la dispersion d'organismes pouvant servir de fossiles de zone géologique au sens ordinaire et les autres indices tels que les produits de l'industrie humaine sont beaucoup trop localisés. Pourtant les changements géologiques n'ont en aucune manière cessé pendant ce temps. Il s'y est produit des changements climatiques considérables et répétés, passages de climats glaciaires à des climats interglaciaires, avec variations correspondantes des conditions atmosphériques, de l'érosion et des phénomènes de transport et de dépôt; en même temps se produisaient des oscillations du niveau des océans causées par le blocage ou le déblocage de l'eau dans les calottes glaciaires et par l'enfoncement des terres sous le poids de la glace accumulée, des lacs se formaient et se remplissaient, des tourbières se constituaient, il se produisait des modifications du cours des rivières et des lignes de rivage etc. C'est sous l'influence de ces phénomènes que se sont produites les migrations et par suite l'évolution de la flore, de la faune et de l'homme lui-même.

En faisant usage de l'analyse pollinique dans les recherches sur le Quaternaire nous cherchons à insérer les conclusions qu'elle tire de l'histoire végétale parmi celles que nous ont fournies indépendamment l'archéologie, la climatologie et la géologie. Les résultats de toutes ces sciences devront en définitive former un schéma cohérent.

Il faut donc étudier la stratigraphie des localités où l'on peut relier l'analyse pollinique à d'autres phénomènes qui sont du ressort des autres sciences du Quaternaire et aussi entreprendre l'analyse pollinique dans les localités géologiquement bien caractérisées et dans les stations archéologiques classiques, de manière à relier strictement le schéma des zones de pollen au plus grand nombre possible des autres échelles de temps. C'est seulement à partir du moment où l'on aura fait ce travail que l'analyse pollinique pourra servir au but plus spectaculaire d'assigner une date à des objets ou des événements dont aucune autre méthode n'a pu révéler l'âge.

Les niveaux de Somerset

Dans les vallées qui s'étendent entre les Polden Hills et les Mendip Hills vers le Canal de Bristol on trouve les restes d'un énorme marais à sphaignes qui est à l'heure actuelle activement exploité pour la tourbe. Au cours de cette excavation on a mis au jour un grand nombre de faits importants pour l'histoire du Quaternaire et on y a pratiqué de nombreuses analyses polliniques. Le fond des vallées est comblé par des argiles d'eau saumâtre à peu près jusqu'au niveau actuel de la mer. L'analyse pollinique de la tourbe immédiatement sousjacente et des veines intercalées montre que la transgression marine s'est terminée à la fin de la zone VI, conclusion tirée de l'examen du pollen de tourbes immergées à des profondeurs allant jusqu'à 16 m dans la baie de Swansea, du côté gallois du Canal de Bristol. Les vallées sont ouvertes vers la mer mais ce n'est qu'à l'époque de l'occupation romaine que la mer les inonda de nouveau. Sur la surface de l'argile se sont installés des marais à roseaux et carex qui ont ensuite cédé la place à une tourbière. Ces tourbières principalement constituées de sphaignes dépendent directement par suite de leurs besoins d'eau de la précipitation et réagissent rapidement aux changements climatiques. Ainsi, dans le profil maintenant mis à nu, des bandes horizontales de types variés de tourbe apportent la preuve des changements climatiques passés. L'horizon le plus frappant révèle que les marais devenus secs et couverts de bruyère (*Calluna*) et de linaigrette (*Eriophorum*) ont été soudain recouverts par un développement dense du grand



(Aimablement communiqués par la Royal Society.)

FIGURE 2 – *Diagramme pollinique, Decoy Pool Wood, Somerset.*

carex denticulé (*Cladium mariscus*) et d'autres herbes des marais. On ne peut interpréter ce changement qu'en le supposant dû à l'envahissement de tout le système de vallées par une eau calcaire venant des collines pendant une période beaucoup plus humide. Deux méthodes différentes, analyse pollinique et archéologie, permettent de dater cet événement. Tous les diagrammes de pollen indiquent qu'à l'horizon de ce changement la composition des forêts avoisinantes a subi de profondes modifications. Le tilleul est beaucoup moins abondant, la quantité d'aune diminue aussi, par contre on peut noter un accroissement marqué du bouleau, un accroissement plus léger du pin, ainsi que l'apparition de pollen de hêtre en quantité petite mais notable. Ces variations sont utilisées pour définir le passage entre les zones de pollen VII et VIII; elles sont causées par une détérioration générale du climat que l'on retrouve sur toute l'étendue de l'Europe occidentale, marquée

en archéologie par la transition entre l'âge du Bronze et l'âge du Fer et dans d'innombrables tourbières par des «surfaces de retour» de même caractère et de même signification que celles des tourbières de Somerset. Le pollen des plantes non arborescentes, il faut le noter, confirme les déductions tirées de l'analyse grossière de la tourbe en fournissant un document sur les associations végétales qui croissaient directement sur la tourbière au cours de ces changements.

L'homme préhistorique avait peu de difficultés à traverser les tourbières asséchées entre les crêtes de sol solide, mais dès le retour à un climat humide le marécage s'est étendu sur la surface des tourbières et l'homme a dû construire des pistes de bois pour maintenir de tels passages. Mais on ne peut les utiliser longtemps; elles disparaissent rapidement dans le marécage, recouvertes par la croissance des *Cladium*. Aussi les bêcheurs de tourbe rencontrent-ils souvent des pistes préhistoriques et ce toujours au niveau des surfaces marécageuses. On découvre, fait très intéressant, que les bois portent encore les marques des haches de la fin de l'âge du Bronze avec lesquelles ils ont été coupés; on trouve aussi dans la couche immédiatement sousjacente de la tourbière, des harpons du milieu de l'âge du Bronze. La confirmation de l'âge de la surface de submersion est due à la découverte de poteries néolithiques dans les couches beaucoup plus basses (là encore reliée à l'analyse pollinique) et de beaucoup d'objets de l'époque romaine dans les couches situées bien au-dessus.

Un intérêt de plus réside dans le fait que le pollen des plantes non arborescentes met en évidence, si l'on examine les modifications de la fréquence des plantes herbacées, l'introduction, l'expansion puis la décroissance de l'agriculture dans la région. Il semble évident que la culture commencée à l'âge du Bronze a souffert quelque recul à cause du climat plus rude, puis a connu une extension beaucoup plus grande au dernier âge du Fer et au début et au milieu de l'époque romaine.

Lac Pickering, Yorkshire

Le retrait de la dernière calotte glaciaire de l'est du Yorkshire a laissé un lac allongé peu profond sauf à l'extrémité dirigée vers la mer. Au milieu des eaux du lac, par intervalles, s'élevaient des îles morainiques et des découvertes récentes ont montré qu'un grand nombre d'entre elles furent occupées de façon très dense par des chasseurs préhistoriques. Des séries de sondages pratiqués dans les parties les plus profondes du lac montrent une stratigraphie typique des derniers temps glaciaires et une longue série de pollen reproduit le diagramme déjà décrit. Une excavation pratiquée sur les flancs de l'une des îles a montré que les occupants préhistoriques avaient construit de grandes plateformes de branches de bouleau près du rivage, et parmi celles-ci on a trouvé une grande abondance de pièces archéologiques: silex, andouillers, os, bois, écorces et même de l'ambre, préservées par submersion dans les eaux montantes du lac. De ces découvertes on peut déduire que l'endroit était occupé par l'homme mésolithique dont la civilisation présente des affinités d'une part avec les civilisations paléolithiques supérieures de Meiendorf au Holstein et d'autre part avec les civilisations de Maglemose au Danemark, l'une de la fin de la période glaciaire et l'autre de la période Boréale, c'est-à-dire contemporaine de la période de première extension de la chênaie mixte.

A Flixton, première localité du lac Pickering étudiée (mais pas la plus productive) on peut suivre latéralement la trace des débris du lieu d'occupation jusque dans les dépôts du lac et ainsi les placer dans une courte série verticale de pollen. Cette dernière, reliée à la longue série pollinique du lac, montre clairement que l'on doit rapporter l'occupation à l'étage de forêt dense immédiatement antérieure à l'expansion du noisetier et de la chênaie mixte; ce qui la place plus tôt qu'aucune civilisation mésolithique précédemment décrite en Angleterre. Il semble manifeste que tombant comme elle le fait près de la fin de la zone IV ou du commencement de la zone V, elle correspond à une période de forêt dense où n'étaient représentés que le bouleau et le pin.

Cette conclusion concorde avec l'identification de restes abondants d'animaux forestiers. Ceux-ci comprennent une grande quantité de cerfs (*Cervus elaphus*), quelques élans (*Alces alces*), des chevreuils (*Capreolus capreolus*), des porcs, une espèce de grande taille de *Bos* ainsi que le renard à fourrure, le martinet, le blaireau et le castor. On a trouvé différentes étapes de la fabrication de lances barbelées ou harpons avec des andouillers de cerf. L'abondance de ces outils achevés caractérise étroitement la civilisation et il est intéressant de noter qu'en deux occasions antérieures où ils ont été découverts en Angleterre, il a été possible de les dater par analyse pollinique. L'un de ces cas se situe près d'une falaise à Skipsea où l'on a montré que les outils remontaient au moins à la période Boréale. L'autre exemple est constitué

par la récupération d'un tel outil dans un morceau de tourbe dragué au fond de la mer du Nord à 19 brasses de profondeur, par le patron d'un chalutier draguant sur les bancs Leman et Ower. Des échantillons de tourbe attachés au sol minéral à cet endroit ont fourni des analyses montrant que sa formation a eu lieu immédiatement avant et pendant la première expansion du noisetier et de la chênaie mixte. Il est donc évident qu'au moment de cet établissement mésolithique dans le Yorkshire le bassin de la mer du Nord était encore à sec, et que non seulement l'homme de cette époque aurait pu traverser directement entre l'Angleterre et le continent européen, mais encore que quelques-uns l'ont réellement fait.

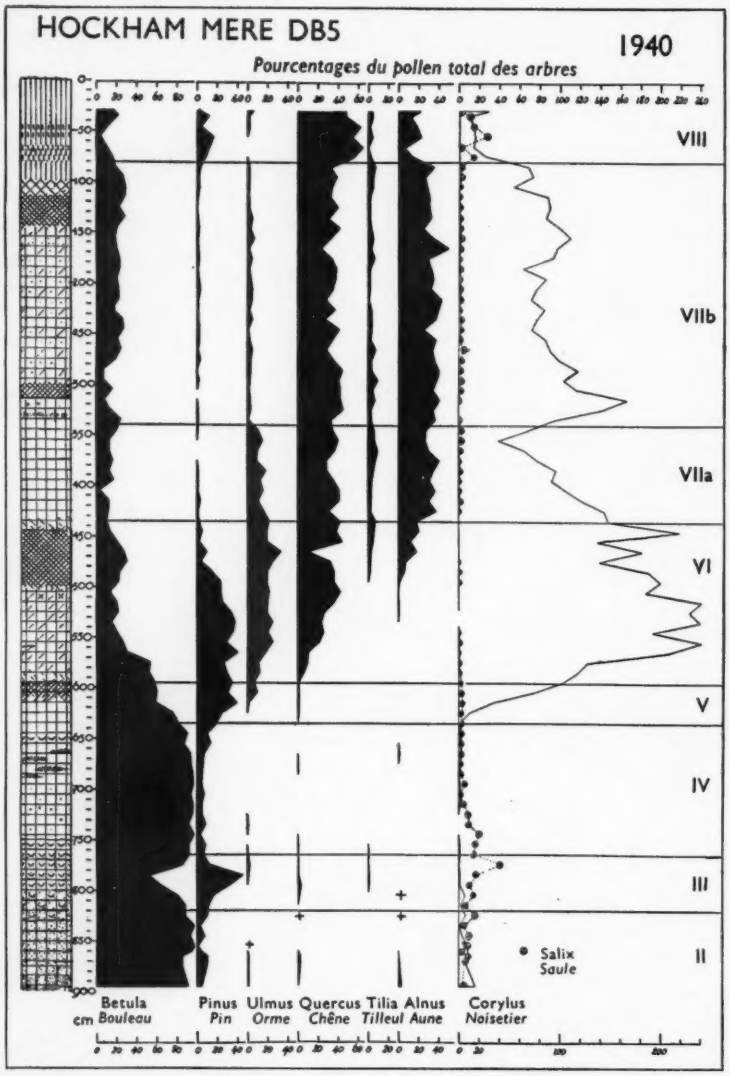
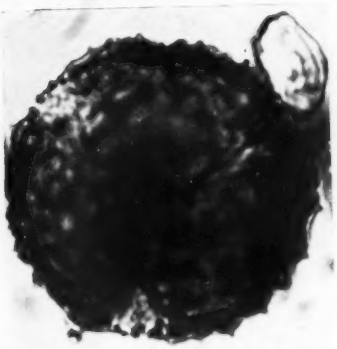


FIGURE 3 – *Diagramme pollinique, Hockham Mere (pollen d'arbres).*

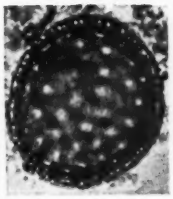
DÉBOISEMENT ET INFLUENCE DE L'HOMME

La technique de l'analyse pollinique repose, comme nous l'avons vu, sur la supposition préalable que les changements végétaux qu'elle traduit sont universellement coordonnés, puisque dus à une cause climatique commune. Dans les systèmes écologiques du passé lointain l'homme, comme les autres animaux, était sujet aux conditions du milieu où se déroulait sa vie, et le chasseur ou le pêcheur avait une économie, des outils et des coutumes immédiatement en rapport avec la forêt ou la toundra où il vivait. Progressivement cette dépendance se fait moins stricte; la hache de pierre, le feu, les animaux domestiques, les outils de métal, l'agriculture ont permis à l'homme de commencer à exercer lui-même une influence sur son cadre naturel. Chétifs au début, ces efforts ont acquis une telle puissance que, de nos jours, ils nécessitent la mise en œuvre de politiques visant à les empêcher de détruire les moyens même d'existence de l'humanité. On doit s'attendre à trouver, dans les diagrammes polliniques de l'Europe occidentale, la trace du début et de l'évolution de ce processus comme on a trouvé celle de l'évolution «naturelle» antérieure.

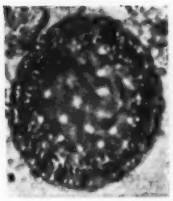
On sait depuis quelque temps que d'une manière générale il est possible de distinguer le pollen des céréales cultivées de celui de la plupart des graminées sauvages — c'est principalement une question de taille — et l'on a montré que le pollen de type «céréales» est représenté dans quelques diagrammes allemands par des courbes continuellement croissantes depuis le Moyen-Age. Mais c'est



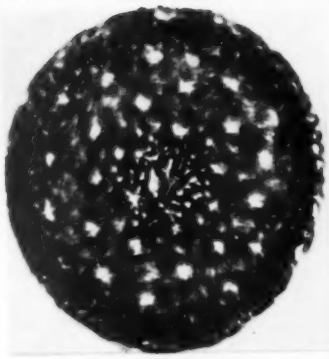
(1) (× 1200)



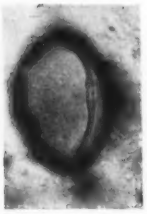
(2) (× 720)



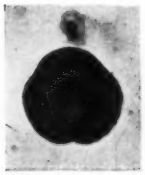
(3) (× 720)



(4) (× 1100)

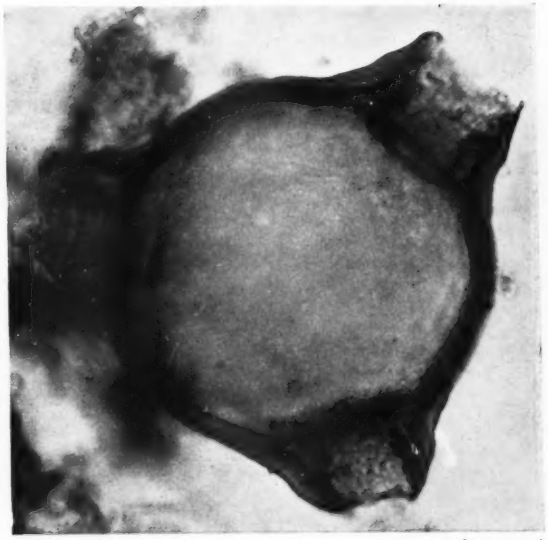


(5) (× 600)

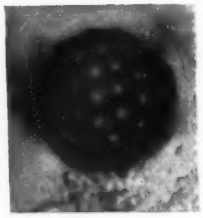


(6) (× 1000)

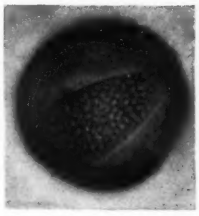
(7) (× 1000)



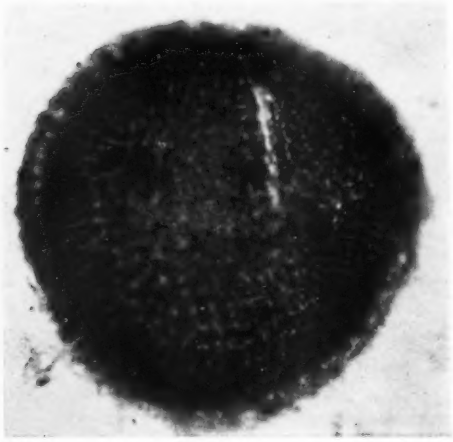
(10) (× 1200)



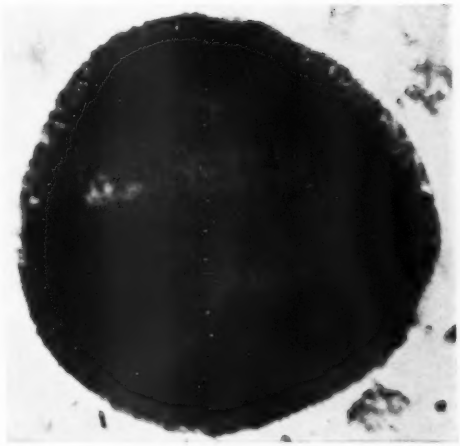
(8) (× 1000)



(9) (× 1000)

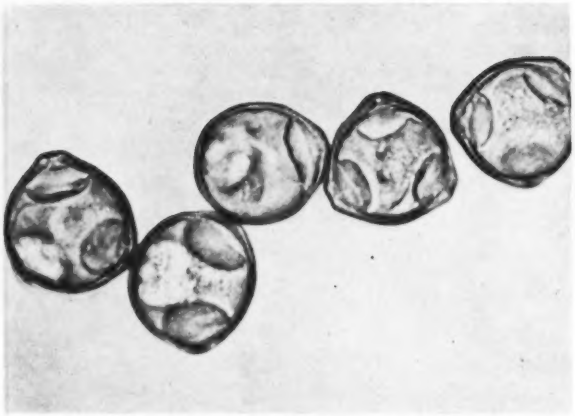


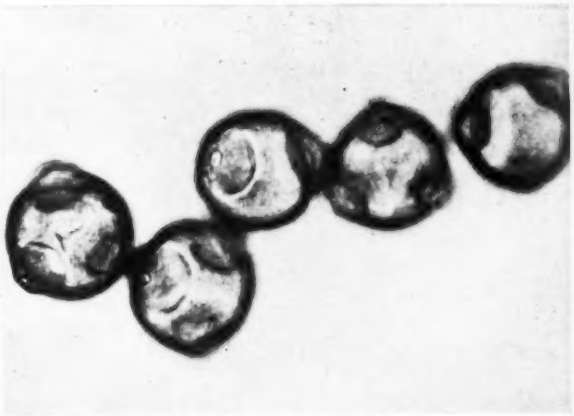
(11) (× 1000)



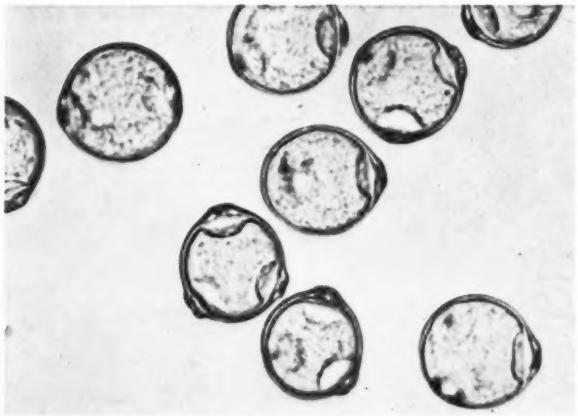
(12) (× 1000)

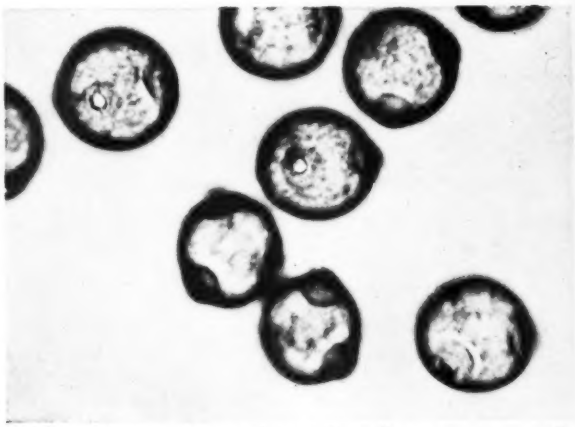
FIGURE 4 – *Photographies de grains de pollen fossiles tirés de boues de la fin de la période glaciaire à Nazeing, au Nord de Londres.* (1) Valeriana; (2) *et* (3) Polemonium caeruleum *mise au point sur deux plans différents pour montrer les pores caractéristiques et la structure de la paroi;* (4) *Pollen récent de la même espèce pour comparaison, grossissement plus fort;* (5) Helianthemum *cf.* chamaecistus; (6) Artemisia *sp.;* (7) Ulmaria; (8) Chenopodium *sp.;* (9) *grain à six sillons des Labiées;* (10) Epilobium *sp.;* (11) *et* (12) Succisa pratensis *à deux positions différentes de mise au point.*





FIGURES 5 *et* 6 – *Grains de pollen de* Corylus avellana (*noisetier*) *en section optique et mise au point sur la surface, montrant les pore caractéristiques.* (× 800)





FIGURES 7 *et* 8 – *Grains de pollen de* Betula pendula (*bouleau*) *en section optique et mise au point sur la surface; noter comment les pores diffèrent de ceux de* Corylus. (× 800)

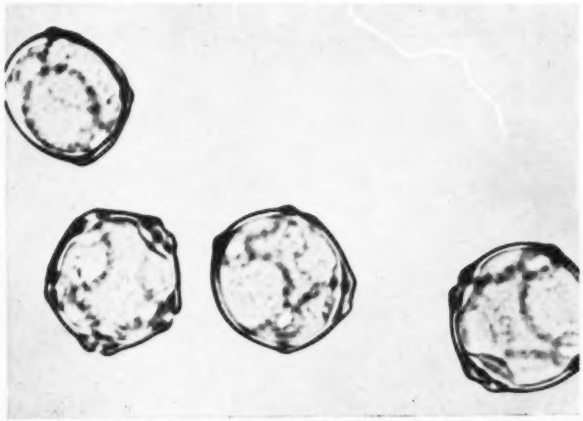


FIGURE 9 – *Grains de pollen d'*Alnus glutinosa (*aune*) *montrant les bandes courbes qui courent à l'intérieur entre les pores qu'ils entourent.* (× 800)

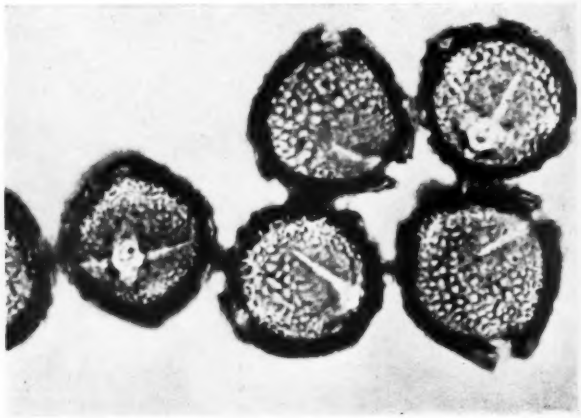


FIGURE 10 – *Grains de pollen de* Hedera helix (*lierre*) *montrant trois sillons chacun avec un pore central circulaire, et une surface profondément sculptée.* (× 800)

(Photographies 5–10 dues à l'amabilité de Mr H. A. Hyde et de l'Asthma and Allergy Research Unit, St David's Hospital, Cardiff.)

pore

les

ant
face

diff.)

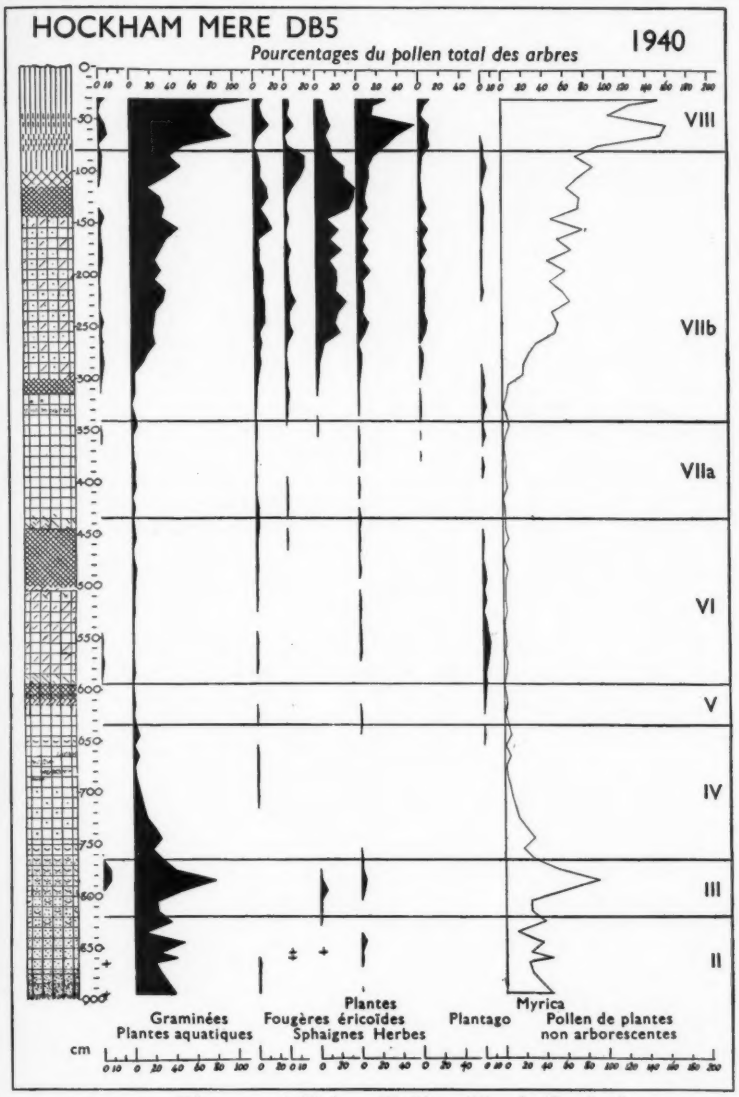


FIGURE 11 – *Diagramme pollinique, Hockham Mere (pollen de plantes non arborescentes).*

seulement depuis 1940 qu'on a pu démontrer la possibilité de reconnaître la liquidation de la forêt néolithique. Iversen, au Danemark, a pu montrer que, dans certains sites lacustres, des cendres d'établissements de rivage néolithiques reconnus sont enfouis dans des boues lacustres à des niveaux où les courbes de pollen d'arbres montrent des variations soudaines mais systématiques. Les courbes traduisent l'élimination locale par le feu des chênes dominants, l'augmentation temporaire des noisetiers, des bouleaux et des aunes qui colonisaient les clairières après leur abandon et enfin le retour à la chênaie mixte. Fait encore plus important, ces courbes indiquent la présence de pollen de céréales et de plusieurs espèces ou genres de plantes considérées maintenant comme mauvaises herbes des sols cultivés. Parmi ces plantes on peut citer surtout le plantain lancéolé (*Plantago lanceolata*) dont on peut distinguer le pollen de ceux des autres plantains et *Artemisia*, genre de la famille des composées possédant une pollinisation éolienne. Au sujet des landes sablonneuses du Jutland, Iversen a pu démontrer que les landes actuelles dépourvues d'arbres étaient autrefois recouvertes par une forêt préhistorique de chêne et de bouleau. Le pollen, facile à reconnaître, des arbrisseaux dominants de la lande (*Calluna* et autres genres d'Ericacées) ne devient abondant qu'à partir de l'âge du Fer avant lequel une forêt presque continue occupait le paysage.

Ces découvertes ont trouvé leur correspondance en Angleterre au moment où des recherches analogues ont été pratiquées dans les grandes étendues de landes de l'Est auxquelles on donne le nom de Breckland. On a montré que, dans cette région, un ancien lac: le Hockham Mere, partiellement asséché à l'époque des Tudors, contient encore 10 à 12 mètres d'épaisseur d'une boue lacustre organique dont l'analyse pollinique révèle l'histoire des terres environnantes depuis les derniers temps glaciaires jusqu'à nos jours. Le diagramme pollinique des arbres (figure 3) y est remarquablement uniforme et n'est manifestement pas troublé par des influences locales telles que celles qui compliquent les diagrammes des bordures de lacs, des marais boisés et des marécages. On peut y

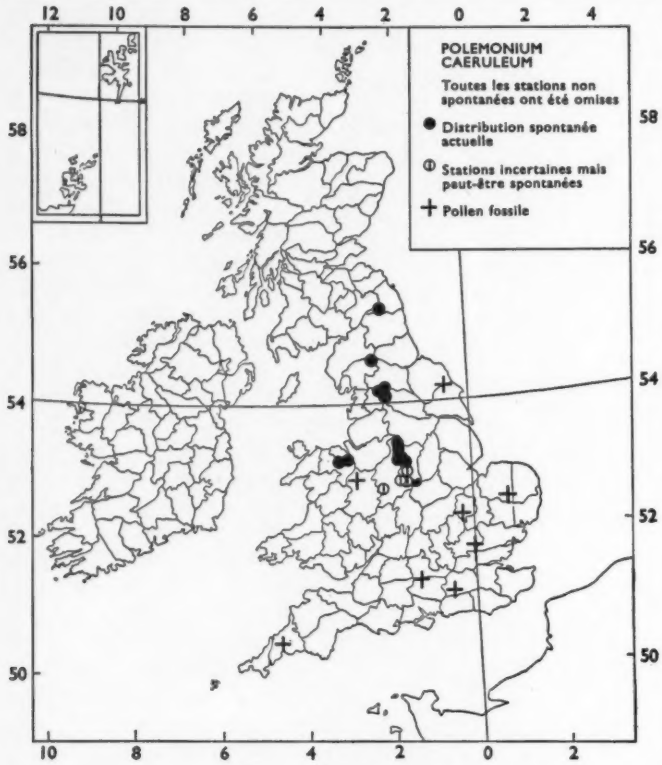


FIGURE 12 – *Distribution actuelle et fossile de* Polemonium caeruleum *dans les Iles Britanniques. Les découvertes de pollen dans des dépôts de la fin de la période glaciaire montrent l'importance de l'extension passée de cette plante.*

reconnaître tous les traits principaux des zones de pollen en Angleterre. A 330 cm environ se place la limite entre les zones VII*a* et VII*b*, marquée par le prompt déclin de la quantité d'ormes, qui est un trait commun à tous les diagrammes de l'Europe occidentale. On sait que ceci correspond avec le commencement de la civilisation néolithique. A ce diagramme ajoutons celui du pollen des plantes non arborescentes en prenant pour repère les mêmes zones; on peut alors observer que durant la dernière période glaciaire le retrait du bouleau est démontré par les fortes valeurs obtenues pour le pollen des plantes non arborescentes, principalement des graminées. Ensuite, cependant, on constate la présence d'une longue période pendant laquelle la totalité du pollen des plantes non arborescentes n'atteint jamais 10% du pollen total des arbres, ceci indiquant des conditions de forêt épaisse. A environ 300 cm le diagramme montre une variation saisissante marquée par un accroissement important du pollen de graminée, de bruyères et de différentes herbes ainsi que du nombre des spores de sphaignes et de fougères; l'ensemble atteint rapidement 60% du pollen total des arbres et indique évidemment la transformation d'une grande partie de la forêt en lande découverte. On remarquera que pendant cette époque on peut établir une courbe continue pour l'espèce caractéristique *Plantago lanceolata*.

Il est donc évident qu'un déboisement important s'est produit aux temps néolithiques et, fait significatif, c'est à moins de 16 km du lac que se situe le grand gisement de silex néolithiques de Grimes' Graves qui fournit une preuve directe de l'occupation préhistorique à cette époque. A la profondeur de 70 à 80 cm les courbes de pollen de plantes non arborescentes montrent un important accroissement qui peut être daté par référence au diagramme de pollen des arbres, dans lequel une série de modifications indique la transition entre la zone VII et la zone VIII se produisant sous l'influence d'une grande altération climatique survenue à cette époque. Ces faits se sont produits à la transition entre l'âge du Bronze et l'âge du Fer en Angleterre, et il paraît évident que les déboisements commencés aux temps néolithiques se sont beaucoup étendus à l'âge du Fer. L'attribution d'une origine anthropogène aux landes du Breckland nous fait réaliser un pas considérable dans l'explication de l'écologie de cette région.

LA DERNIÈRE PÉRIODE GLACIAIRE

A partir du moment où l'histoire de la forêt post-glaciaire de l'Europe occidentale a commencé à être suffisamment débrouillée, les spécialistes d'analyse pollinique ont commencé à reporter leurs recherches sur la fin de la période glaciaire, immédiatement antérieure. On a examiné les phénomènes associés à l'oscillation d'Allerød, phase chaude temporaire suivie par un retour du climat froid qui se place immédiatement avant l'amélioration climatique générale post-glaciaire. Cette oscillation a laissé comme traces des dépôts organiques lacustres et de bassins surmontant le dépôt glaciaire d'argiles à blocaux et recouverts par de la terre ayant glissé vers le bas du bassin

par suite des gels et dégels alternés occasionnés par le retour passager du froid. L'amélioration climatique de l'oscillation est indiquée non seulement par le fait que des boues organiques se déposaient dans les lacs sans mélange de matière minérale mais aussi par la flore relativement tempérée de ces boues organiques représentée par des fruits, des graines, des feuilles etc., flore en net contraste avec celle plus nordique des sols minéraux situés au-dessous et au-dessus, auxquels on donne le nom d'argiles à *Dryas* inférieures et supérieures.

L'application de l'analyse pollinique aux dépôts de cette période s'est trouvée grandement facilitée par les progrès de l'expérience et de la technique qui permettent maintenant de reconnaître un grand nombre de genres de plantes herbacées. En Scandinavie méridionale où ces recherches ont débuté, on a bientôt réalisé que les argiles à *Dryas* inférieures, les couches d'Allerød et les argiles à *Dryas* supérieures se traduisent clairement dans les diagrammes polliniques, et on a pu les rapporter là comme en Angleterre aux zones I, II et III. La période post-glaciaire qui commence avec la zone IV, débute par une réduction remarquable du rapport du pollen de plantes non arborescentes au pollen d'arbres, expression constante du développement des forêts épaisses de bouleau et de l'exclusion des végétations herbacées. Le pollen des plantes non arborescentes de la dernière période glaciaire provient presque entièrement de graminées et de carex, les arbrisseaux éricoïdes du Nord de la ligne de forêts de l'Europe actuelle étant peu importants. La fréquence du pollen de bouleau et la présence de fossiles macroscopiques locaux montrent cependant que des groupes de ces arbres existaient çà et là et l'on a fabriqué le nom de «toundra-parc» pour exprimer le caractère général de la végétation. Des genres et des espèces, connus par leur pollen, se sont révélés très caractéristiques de cette dernière végétation glaciaire. On peut y reconnaître le saule (*Salix*), particulièrement abondant, et bien que la plupart des espèces de ce genre ne soient pas séparément identifiables on peut présumer que ce pollen provient d'espèces naines nordiques de même que le pollen de bouleau plus petit que l'habituel provient vraisemblablement de *Betula nana*. On trouve souvent en Europe occidentale, mais rarement en Angleterre, l'argousier ou faux-nerprun (*Hippophae rhamnoides*) dans les zones I et III. Les genres *Artemisia* et *Helianthemum* (hélianthème) sont toujours présents mais dans aucun cas on ne connaît l'espèce avec certitude. On trouve aussi beaucoup de pollen de *Thalictrum* (peut-être *T. alpinum*), *Rumex*, *Armeria*, *Dryas*, *Galium*, *Ulmaria*, *Campanula* et beaucoup d'autres encore. Dans le Nord-ouest de l'Irlande on trouve le pollen d'*Empetrum* en si grandes quantités qu'il fait penser à la présence de landes à *Empetrum*, on peut d'ailleurs en reconnaître l'espèce qui est bien *E. nigrum* L. et non l'espèce plus septentrionale *E. hermaphroditum*. Quelques-uns des plus expérimentés parmi les spécialistes ont identifié du pollen de *Juniperus* et *Populus*; les spores de *Selaginella* et de *Botrychium* sont abondantes.

Dans la période d'Allerød elle-même des forêts épaisses ont remplacé la végétation toundra-parc et les cartes de pollen d'Iversen se rapportant au Sud de la Scandinavie pour cette période indiquent qu'alors une forêt de bouleau couvrait le Nord du Danemark et la Suède tandis qu'en Allemagne du Nord la forêt de pin l'emportait temporairement. La connaissance nouvellement acquise de la végétation toundra-parc de la dernière période glaciaire s'accorde remarquablement bien avec l'étude plus poussée d'une abondante faune de mammifères herbivores: bison (*Bison bonasus arbusto-tundrarum*), cheval, renne, élan (*Alces alces*). Il est très intéressant de noter que Mitchell et Jessen ont montré que pratiquement toutes les découvertes de squelettes ou de bois du cerf géant irlandais (*Cervus megaceros*) ont été faites dans des marnes calcaires de la période d'Allerød: il semble impossible de ne pas rapporter l'extinction de cette grande espèce à l'extension de la forêt qui a, en même temps, réduit ses pâtures et donné asile aux prédateurs.

Cette déduction fournit une occasion d'expliquer la facilité avec laquelle l'analyse pollinique permet de rapporter les restes d'un animal à une période, non seulement lorsqu'on les trouve non troublés *in situ* dans les dépôts mais aussi quand un os ou une corne creuse peuvent fournir quelques millimètres cube de boue séchée pour l'analyse pollinique.

Naturellement le principe s'applique aussi aux restes de végétaux. Dans quelques cas nous possédons des collections de graines, de fruits et de feuilles qui permettent de reconnaître de nombreuses espèces et c'est essentiellement l'analyse pollinique qui permet d'attribuer à la dernière période glaciaire les dépôts où ils ont été découverts. On a ainsi récemment constitué une collection de ce genre à Nazeing, au Nord de Londres, et parmi les nombreux traits intéressants qu'elle présentent nous pouvons en noter deux: d'abord, la présence de beaucoup de plantes qui se comportent maintenant en Angleterre comme des mauvaises herbes et qui jusqu'à maintenant sont

considérées comme introduites par les agriculteurs préhistoriques. Ces plantes comprennent: *Galeopsis tetrahit*, *Sonchus asper* et *Linaria vulgaris*; ces découvertes rappellent l'identification au Danemark, dans du pollen de la dernière période glaciaire, de pollen de bleuet (*Centaurea cyanus*) et de celui du panais sauvage (*Pastinaca sativa*) en Angleterre.

En second lieu nous pouvons y noter la présence de beaucoup d'espèces se trouvant largement en dehors de leur aire de répartition actuelle, et parmi celles-ci quelques-unes dont la distribution actuelle est fortement disjointe. On peut ranger dans ce cas les fruits de *Potentilla fruticosa*, *Thalictrum alpinum*, *Dryas octopetala* et *Betula nana* parmi d'autres. Plus frappante encore est la présence de quantités considérables de pollen de *Polemonium caeruleum*, jolie plante possédant un pollen très orné impossible à confondre avec celui des autres espèces (voir figure 4) et dont la répartition actuelle est restreinte et disjointe. On a souvent tendance à interpréter ces distributions disjointes comme des survivances *in situ* ayant traversé au moins la dernière glaciation, mais comme on le voit sur la carte (figure 12) *Polemonium* se trouve si souvent à l'état fossile en Angleterre qu'on ne peut mettre en doute sa très large distribution pendant les derniers temps glaciaires.

A la vérité, à cette époque où le sol était trop meuble et récent, pas encore stratifié par suite du lessivage des couches supérieures et du dépôt dans les couches inférieures, où la compétition de la forêt faisait défaut, et où le bassin de la mer du Nord était encore émergé, les conditions de dispersion devaient être remarquablement favorables à beaucoup de plantes, spécialement à celles que nous considérons comme des mauvaises herbes et aux plantes des lieux découverts. Dans la période post-glaciaire suivante eurent lieu l'expansion des forêts, le lessivage des sols et l'extension des tourbières, toutes choses qui ont beaucoup restreint l'espace offert à de telles espèces.

DÉPÔTS INTERGLACIAIRES ET PLUS ANCIENS

Une des tâches urgentes qui se présentent à l'analyse pollinique est de jeter la lumière sur la nature des dépôts interglaciaires anglais pour les coordonner avec les dépôts similaires du continent européen et si possible fournir une aide dans l'étude du problème controversé de la corrélation des phénomènes glaciaires en Angleterre et à l'étranger. Il existe déjà quelques bases permettant de supposer que c'est là une chose réalisable. Il y a plus de vingt ans, Jessen et Milthers ont publié les résultats de leurs recherches sur les pollens et d'autres matières fossiles en provenance du Danemark et du Nord de l'Allemagne, et par la suite d'autres recherches sont venues à l'appui de leurs principales conclusions. Ils ont pu démontrer à l'aide de diagrammes polliniques établis pour des dépôts lacustres profonds, que l'histoire climatique de la végétation pendant chaque période interglaciaire a suivi un cours essentiellement similaire à celui de la période postglaciaire, mais qui naturellement a été suivi par une nouvelle glaciation. Néanmoins certains traits apparaissent comme caractéristiques d'une période interglaciaire en particulier; ainsi pendant la dernière le charme (*Carpinus*) a joué un rôle prédominant dans les régions peuplées d'espèces à feuilles caduques, comme il ne l'a jamais fait ni avant ni après dans l'Europe du Nord-ouest. On a trouvé ces derniers mois, du pollen de charme en quantité importante dans les boues organiques d'une terrasse interglaciaire de graviers à Cambridge; ce fait indique donc une attribution possible à la dernière période interglaciaire. Parmi les identifications d'espèces exigeant de la chaleur on peut citer des fruits de *Naias minor*, plante aquatique du centre et du Sud-est de l'Europe, inconnue à l'heure actuelle en Angleterre mais trouvée dans d'autres dépôts interglaciaires anglais. Wolstedt a récemment publié un court diagramme pollinique complété par P. W. Thomson pour une partie du fameux banc de la forêt de Cromer. Jessen et Mitchell ont donné quelques indications sur des analyses polliniques en cours d'exécution portant sur les interglaciaires irlandais: nous devons attendre davantage d'informations avant de tenter une synthèse dans ce domaine de la recherche.

BIBLIOGRAPHIE

ERDTMAN, G. «An introduction to Pollen-analysis». Chronica Botanica Co., Waltham, Mass. 1943.

FÆGRI, K., et IVERSEN, J. «Text-book of Modern Pollen-analysis». E. Munksgaard, Copenhague. 1950.

GODWIN, H. *New Phytologist*, **23**, 278 et 325, 1934.

Idem. Proc. Geol. Ass., **52**, 328, 1941.

Idem. Nature, **153**, 511, 1944.

Idem. Ibid., **154**, 6, 1944.

Idem. Philos. Trans. Roy. Soc., **233**, B, 600, 275, 1948.

Idem. J. Ecol., **37**, 140, 1949.

IVERSEN, J. *Danmarks Geologiske Undersøgelse*, II, 66, 1941.

JESSEN, K. *Proc. Roy. Irish Acad.*, **52**, B, 6, 1949.

Structure et rayonnement des flammes

A. G. GAYDON

Description d'une flamme provenant d'un mélange de gaz et d'une flamme de diffusion, ainsi que des éléments constitutifs qui les caractérisent: suivie d'un exposé sur le moyen de séparer le cône intérieur du cône extérieur, les effets d'addition de produits, et la formation de carbone et de radicaux instables. Les flammes à basse pression permettent d'étudier la structure du «front» de la flamme, et il est question d'un brûleur de forme spéciale pour l'étude des flammes de diffusion. Les spectres d'absorption renseignent sur les phénomènes chimiques et physiques.

On peut grouper les flammes en deux catégories, celles provenant d'un mélange de gaz, et celles produites par un gaz combustible brûlant par diffusion dans une atmosphère favorable. La forme la plus familière de la première catégorie est la flamme d'un brûleur Bunsen. La flamme d'une bougie ou un simple bec de gaz brûlant à l'air est un exemple de flamme de diffusion. En ouvrant complètement la virole d'un Bunsen pour donner le maximum d'air, on voit un cône intérieur d'un bleu-vert relativement clair entouré d'un manchon ou cône extérieur d'une couleur bleu-violet pâle. Ainsi la figure 4 représente une flamme provenant d'un mélange d'éthylène et d'air.[1] Le cône intérieur est le «front» de la flamme, où ont lieu les réactions chimiques de la combustion. On peut considérer la flamme comme une explosion permanente se propageant à contre-courant du gaz et l'on peut déterminer approximativement sa vitesse en mesurant l'angle du cône et le débit d'écoulement du mélange gazeux non brûlé. Le front de la flamme est de forme très sensiblement conique quoique légèrement étalée près du bord du bec où la vitesse de la flamme est diminuée par la présence de la paroi moins chaude; elle est un peu arrondie au sommet, où la vitesse est légèrement accrue parce que c'est le point où convergent la chaleur et les radicaux actifs venant de tous côtés.

Si l'on réduit légèrement l'arrivée d'air (figure 5), la vitesse de la flamme diminue et par suite le cône intérieur s'allonge. Il est aussi moins brillant avec une petite pointe lumineuse jaune dont la couleur est due au rayonnement de petites particules de carbone incandescent. Si l'on arrête complètement l'arrivée d'air (figure 6), la flamme devient jaune en raison de la formation de carbone sur toute sa longueur, excepté une légère zone bleu-violet à la base de la flamme. C'est l'aspect de la flamme de diffusion typique d'un hydrocarbure brûlant à l'air.

La plupart des flammes de mélange qui nous sont familières présentent un cône intérieur bien net, mais ceci n'est pas une propriété essentielle pour toutes les flammes. La flamme de l'hydrogène avec mélange d'air ou d'oxygène ne présente ni un cône intérieur visible, ni une émission plus intense de radiations ultraviolettes à sa surface. La présence d'un cône intérieur brillant est surtout une caractéristique des composés organiques, bien qu'il existe aussi dans certaines autres flammes telles que celle du mélange oxygène-ammoniac. Dans certaines flammes très chaudes, comme celle du chalumeau oxy-acétylénique, il existe un manchon brillant autour du cône intérieur lorsqu'il y a un léger excès de combustible.

Il est possible de séparer les cônes intérieur et extérieur l'un de l'autre grâce au séparateur de Smithells. Celui-ci consiste en un tube de verre ou de quartz qui enserre étroitement le brûleur et en dépasse l'orifice de quelques centimètres. En réglant le débit gazeux, on peut stabiliser le cône intérieur sur le bord intérieur du brûleur, tandis que le cône extérieur se forme au sommet du tube de verre, ainsi qu'on le voit sur la figure 7. On peut ainsi étudier séparément la lumière de chaque cône. Il est à remarquer qu'il n'y a pratiquement aucun rayonnement provenant de la zone située entre les cônes. L'analyse chimique de prises d'essai révèle que les gaz chauds de cette région comprennent surtout de l'hydrogène, de l'oxyde de carbone, de la vapeur d'eau et de l'azote, les composés organiques se dissociant presque entièrement dans le cône intérieur. Le cône extérieur peut ainsi être assimilé à la flamme de diffusion de l'hydrogène et de l'oxyde de carbone brûlant dans l'air avoisinant.

[1] La photographie en couleur a de sérieuses limitations lorsqu'elle s'applique à des sources lumineuses autonomes. On s'est efforcé de rendre les couleurs aussi fidèlement que possible, mais sans atteindre la perfection dans la reproduction.

Il existe un problème intéressant, encore imparfaitement résolu, qui est celui du mécanisme de la formation du carbone dans les flammes. Dans les flammes de mélanges gazeux, la formation de carbone est très sensible à la présence de catalyseurs; c'est ainsi que Whittingham et l'auteur du présent article ont démontré [1] que l'anhydride sulfurique ajouté dans la proportion d'un millième au gaz d'une flamme Bunsen avec aération maxima, la fait passer au jaune; le gaz sulfureux, au contraire, réduit la formation de carbone. Mais dans les flammes de diffusion, les effets catalytiques sont insignifiants.

Dans les flammes de diffusion, les processus de mélange sont relativement lents, et il n'y a probablement pas d'éloignement notable des conditions d'équilibre. Dans les flammes de mélange, par contre, les gaz mettent pour traverser la mince zone de réaction un temps de l'ordre du cent-millième de seconde ou, pour des flammes à l'oxygène, moins d'un millionième de seconde. Au cours de ces durées très réduites, il est probable que les molécules du combustible sont polymérisées par quelques rapides réactions en chaîne déclenchées probablement par des radicaux actifs libres avant de se décomposer pour donner du carbone solide.

Evidemment, sur le front de la flamme, les réactions chimiques sont si rapides qu'on ne peut prélever d'échantillons, ni suivre le processus par les méthodes chimiques habituelles. On peut avoir quelques renseignements en étudiant l'effet d'additions de produits sur la vitesse de la flamme et les limites de combustion ou en analysant le rayonnement de la flamme elle-même. Dans les flammes organiques, on trouve beaucoup de radicaux libres chimiquement instables, comme OH, CH, C_2, et HCO, sur le front de la flamme ou dans le cône intérieur. Barrow [2] a publié récemment une revue de cet aspect de la question, et l'auteur a traité le sujet de façon plus complète [3]. Les théories chimiques actuelles ne font pas intervenir et n'expliquent pas l'existence dans la flamme de beaucoup de ces radicaux (CH, C_2, HCO). Pourtant, leur rayonnement est ce qu'il y a de plus caractéristique dans la combustion.

Le mécanisme de la formation de C_2 et CH dans les flammes est inconnu, mais il semble au moins probable qu'il n'a rien de simple. Les bandes de C_2 et CH sont émises avec beaucoup plus d'intensité par les flammes très riches en combustible. Wolfhard et l'auteur ont montré récemment que si dans la flamme d'un hydrocarbure, on remplace partiellement ce dernier par un autre combustible (hydrogène ou oxyde de carbone, par exemple) de façon à maintenir le pouvoir combustible du mélange, l'intensité des radiations de C_2 et CH tombe avec une vitesse surprenante. Ceci montre apparemment que la formation de C_2 et CH ne résulte pas d'une réaction simple entre combustible et oxygène, mais nécessite une série de réactions où interviennent plusieurs molécules de combustible.

Pannetier et l'auteur [4] ont trouvé qu'une flamme de cyanogène sec, brûlant dans l'oxygène sec, émet des bandes de C_2 et CN très fortement; l'addition de traces d'humidité ou d'hydrogène produit une baisse remarquable d'intensité du rayonnement de C_2; on observe ensuite le rayonnement des radicaux CH, ce qui suggère une réaction de C_2 avec OH ou H_2 pour former CH.

C'est une expérience suggestive que d'ajouter un peu de bioxyde d'azote à une flamme. Dans bien des cas, on observe une coloration vert jaunâtre, due à la réaction:

$$NO + O = NO_2 + \text{radiation.}$$

On utilise ceci comme test qualitatif de la présence d'oxygène atomique dans une flamme. On voit sur la figure 7 une flamme air-éthylène, qui brûle dans le séparateur de Smithells. On voit sur la figure 8 la même flamme, après addition d'un peu de bioxyde d'azote. Le cône intérieur est plus violet, par suite de radiations dues aux radicaux CN, et le cône extérieur a pris une nuance verdâtre, due à la présence d'oxygène atomique dans cette région. Remarquons que les gaz entre les cônes n'ont pas pris cette teinte verdâtre, et on peut montrer que le cône intérieur n'émet pas son spectre continu caractéristique. Ceci montre qu'il n'y a pas formation de quantités appréciables d'oxygène atomique durant la combustion initiale de l'hydrocarbure.

A pression atmosphérique, le front de la flamme, où se produisent les principales réactions chimiques (il correspond, en gros, au cône intérieur lumineux), n'a qu'un cinquantième de millimètre environ d'épaisseur. Comme la flamme est grossièrement conique, on ne peut étudier en détail le rayonnement émis par son front. Récemment [5], Wolfhard et l'auteur ont pu obtenir des renseignements sur la structure détaillée du front de la flamme en étudiant des flammes à très basse pression. La flamme est enfermée dans un grand récipient en Pyrex où l'on fait continuellement le vide. On emploie un brûleur de grand diamètre. On examine la flamme par une fenêtre en quartz. On la provoque initialement par décharge électrique

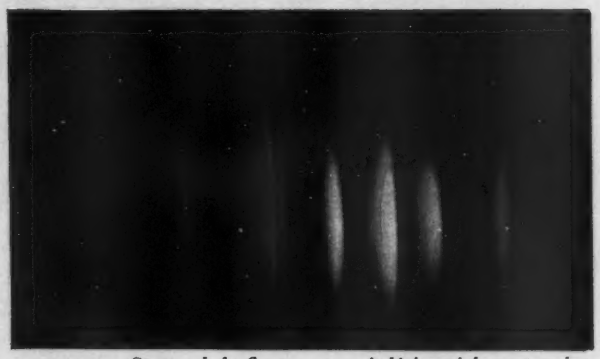


FIGURE 1 – *Spectre de la flamme oxy-acétylénique à basse pression: les bandes violettes et bleu-violettes de CH se trouvent plus haut que les bandes bleu-vertes, vertes et vert-jaunes de* C_2.

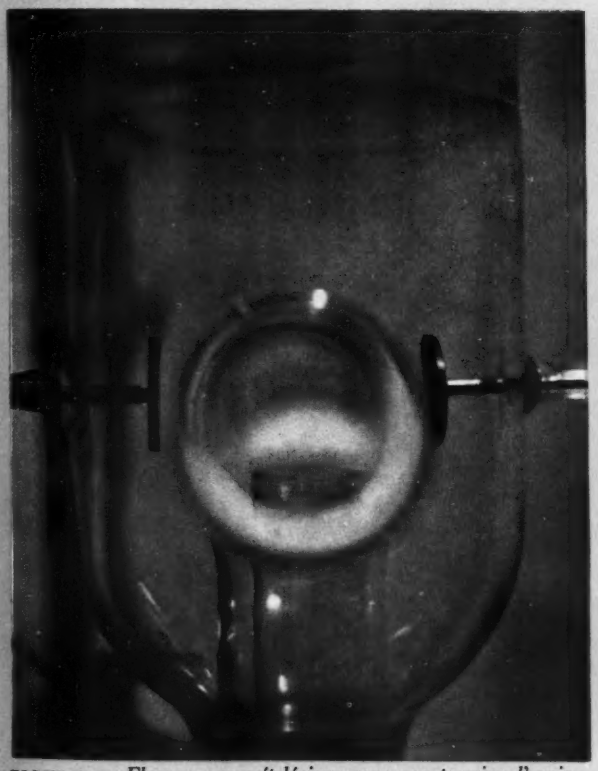
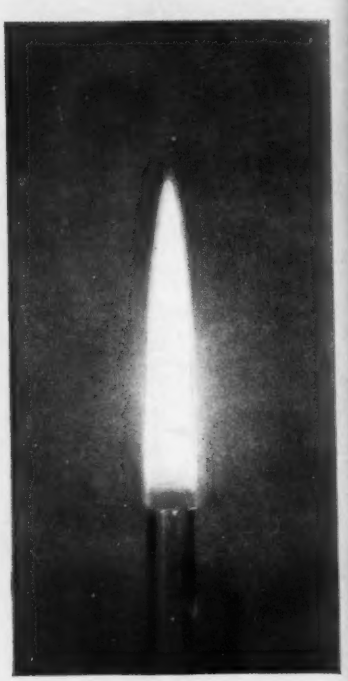


FIGURE 2 – *Flamme oxy-acétylénique sous une pression d'environ 3 mm de mercure, montrant la structure du front de flamme.*

FIGURE 3 – *Flamme acétylène-protoxyde d'azote sous une pression d'environ 10 mm de mercure.*

(4)

(5)



(6)

(7)

(8)

FIGURE 4 – *Flamme d'éthylène-air en mélange préalable; aération totale.*

FIGURE 5 – *Flamme d'éthylène-air en mélange préalable; aération réduite.*

FIGURE 6 – *Flamme de diffusion de l'éthylène dans l'air.*

FIGURE 7 – *Flamme air - éthylène dans le séparateur de Smithells.*

FIGURE 8 – *Effet de l'addition de bioxyde d'azote sur une flamme air-éthylène.*

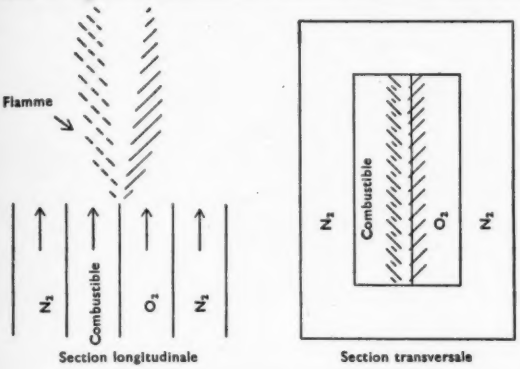


FIGURE 9 – *Brûleur pour flamme de diffusion plate.*

entre deux électrodes. On a pu réaliser des flammes stables sous des pressions inférieures à un centième d'atmosphère (on a atteint 0,9 mm de mercure pour la flamme oxy-acétylénique). Dans ces flammes, le front de la flamme est bien plus épais: il peut atteindre environ un centimètre, et on peut aplatir la flamme, ce qui permet alors d'étudier séparément le rayonnement du sommet et de la base de la zone de réaction. Dans le cas des hydrocarbures brûlant dans l'oxygène, celui, par exemple, de la flamme oxy-acétylénique de la figure 2, la flamme vert-bleue a une base verdâtre et un sommet plus violet. Quand l'image de la flamme est projetée sur la fente d'un spectrographe (figure 1), les bandes jaune-vert, vert, et vert-bleu de C_2 présentent le plus d'intensité à la base de la flamme, tandis que les bandes bleu-violet et violet de CH sont émises plus haut dans la flamme, et sont l'origine de la coloration violette du sommet. On se serait attendu à ce que dans l'oxydation d'un hydrocarbure, la formation de CH précédât celle de C_2, mais c'est apparemment le contraire qui se passe.

Sur la figure 3, on voit une flamme intéressante d'acétylène mêlée au protoxyde d'azote. Elle présente une zone réactionnelle étroite, d'un violet brillant intense, dont le rayonnement est dû surtout aux radicaux CN, surmontée d'une lueur jaune-verdâtre, probablement due à la réaction entre bioxyde d'azote et oxygène atomique.

On peut aussi étudier en détail la structure des flammes de diffusion. Wolfhard et Parker [6] ont conçu un brûleur à cette intention (figure 9). La partie centrale est rectangulaire et divisée en deux, avec une partie pour l'arrivée du combustible, et l'autre pour l'oxygène, si bien que la combustion a lieu dans le prolongement de la cloison de séparation. Ce brûleur rectangulaire est enfermé dans une seconde enveloppe rectangulaire, où monte un courant d'azote pour isoler la flamme de l'air ambiant. On peut alors étudier la flamme sur la tranche. Pour les hydrocarbures, tel que l'éthylène, le méthane, il y a une région de flamme jaune brillante du côté du combustible, due à la formation de carbone. Une région sombre la sépare d'une zone bleuâtre du côté de l'oxygène. Cette zone bleuâtre émet le rayonnement des radicaux C_2, CH et OH, et du côté de l'oxygène de la zone, il y a aussi émission des bandes de Schumann-Runge de l'oxygène lui-même. Remarquons que le formation de C_2 semble suivre, et non précéder, celle du carbone solide. Ce type de flamme permet, outre l'étude du spectre d'émission, l'enregistrement de l'absorption.

En dehors de la chimie des flammes, l'étude du rayonnement nous renseigne sur des questions d'ordre plus physique. Les spectres d'absorption permettent de suivre la diffusion des radicaux OH en sens inverse du courant gazeux. Ceci suggère que la diffusion joue un rôle important dans la propagation des flammes. L'examen détaillé des spectres de bande permet de déterminer les valeurs moyennes de l'énergie de rotation et de vibration des molécules émettrices. L'étude de l'élargissement Doppler des raies spectrales permet même dans certains cas, de déterminer l'énergie moyenne de translation des molécules. On peut en tirer des renseignements sur les processus d'échanges d'énergie des molécules avec le milieu. Dans bien des cas, l'énergie de rotation des molécules émettrices correspondrait à des températures très élevées (5000–10 000°), et ne peut trouver son origine que dans une excitation due à des processus chimiques.

BIBLIOGRAPHIE

[1] GAYDON, A. G., et WHITTINGHAM, G. *Proc. Roy. Soc.*, A, **189**, 313, 1947.

[2] BARROW, R. F. *Endeavour*, **6**, 85, 1947.

[3] GAYDON, A. G. «Spectroscopy and Combustion Theory» (2ème édition). Chapman et Hall, Londres. 1948.

[4] GAYDON, A. G., et PANNETIER, G. *C. R. Acad. Sci., Paris*, **225**, 1300, 1947.

[5] GAYDON, A. G., et WOLFHARD, H. G. *Proc. Roy. Soc.*, A, **194**, 169, 1948; **199**, 89, 1949; **201**, 561, 1950.

[6] WOLFHARD, H. G., et PARKER, W. G. *Ibid.*, A, **62**, 722, 1949.

[7] GAYDON, A. G., et WOLFHARD, H. G. *Proc. Phys. Soc. Lond.*, A, **63**, 778, 1950.

Hormones et métamorphoses des insectes

V. B. WIGGLESWORTH

L'auteur décrit les différents stades du développement des insectes. Des expériences faites sur *Rhodnius* démontrent que la mue est déclenchée par des hormones provenant des cellules neurosécrétrices du cerveau. Dans les stades jeunes la métamorphose est empêchée par une hormone juvénile sécrétée par le *corpus allatum* situé derrière le cerveau. Des interventions chirurgicales telles que décapitation, ablation de glandes et injections faites aux individus décapités, entraînent un développement anormal. Une régulation défectueuse des sécrétions produit des «aberrations».

La considération de la métamorphose des insectes a toujours évoqué des sentiments de mystère. Quand on observe de plus près, avec les yeux de l'anatomiste et du biologiste expérimental, le mystère superficiel se dissipe mais se trouve remplacé par des mystères plus profonds.

Même dans cet exemple extrême que constitue la métamorphose des Lépidoptères, où la chenille se transforme en chrysalide puis en papillon, les rudiments des organes de l'adulte ou imago: ailes, pattes etc., sont déjà présents dans la jeune larve sous forme d'amas de cellules indifférenciées, appelés disques imaginaux. D'un bout à l'autre de la vie larvaire de ces insectes (insectes endoptérygotes) les germes des ailes croissent à l'intérieur et ils ne deviennent apparents que lorsqu'ils se retournent à la nymphose.

Cependant, les structures à proprement parler adultes ne jouent aucun rôle fonctionnel pendant la vie larvaire. Alors que la forme de la chenille est entièrement différenciée avant sa sortie de l'œuf, l'insecte adulte persiste à l'état embryonnaire jusqu'à la fin de la croissance de la chenille et la métamorphose. En réalité, la chenille n'est pas un embryon qui marche, comme l'ont affirmé certains auteurs, mais un organisme pleinement différencié qui contient à son intérieur, à l'état embryonnaire, le papillon adulte. La métamorphose consiste en la dissolution de l'organisme de la chenille et la différenciation et réalisation simultanées de l'organisme latent du papillon qui la remplace.

Dans le développement des animaux, le stade de différenciation visible des organes est précédé par un stade de «détermination» où, bien que toutes les parties paraissent extérieurement semblables, chacune est en fait désignée ou déterminée en vue de former quelque composant particulier de l'organisme à venir. On dit alors que le développement a atteint le stade mosaïque. La détermination des principales parties du corps de l'insecte se produit très tôt dans le développement de l'œuf. Chez quelques insectes, par exemple la mouche du vinaigre *Drosophila*, l'état mosaïque est presque atteint dans le plasma germinatif à la surface de l'œuf au moment de la ponte, c'est-à-dire avant la première division du noyau de l'œuf. Chez d'autres insectes, ce stade peut ne se réaliser qu'après la formation de la bandelette germinative. Si, lorsque le stade mosaïque est atteint, on détruit une partie de l'aire déterminée par brûlure ou par irradiation aux rayons ultra-violets, la partie correspondante de l'insecte fera défaut une fois la différenciation visible et le développement accomplis.

Le fait intéressant chez ces insectes est que, même à ce stade précoce du développement les deux organismes larvaire et adulte sont distincts. L'élimination d'aires restreintes sur des œufs fraîchement pondus de *Drosophila* produit des déficiences correspondantes dans les larves qui en résultent, mais les mouches quand elles apparaissent sont parfaitement normales. A ce stade l'œuf est une mosaïque pour les caractères larvaires mais il est encore indéterminé quant aux caractères adultes. Mais dans les sept heures qui suivent la ponte la détermination imaginale s'effectue. L'œuf est maintenant une mosaïque pour les caractères adultes aussi; la destruction d'aires limitées pratiquée à ce moment produira des résultats visibles chez l'adulte. En fait, si ces destructions affectent des organes tels que les pattes ou les ailes qui n'existent pas dans la larve, les résultats n'en seront visibles qu'après la métamorphose. On connaît des faits semblables pour la mite des vêtements *Tineola* [5]: par irradiation au moment approprié on peut parfois obtenir une mite à appendices normaux à partir de larves auxquelles une patte, on plus d'une, manquait complètement.

Ainsi la métamorphose consiste en la réalisation de tous les caractères adultes ou imaginaux qui

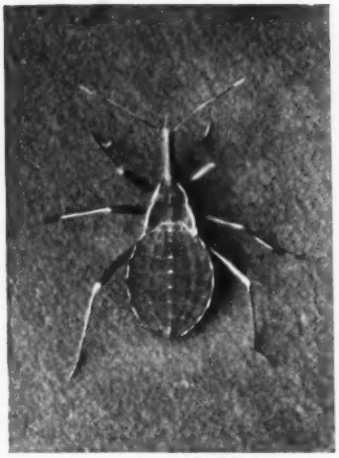


FIGURE 1 – *Larve de* Rhodnius *au 4ème stade.* (× 4)

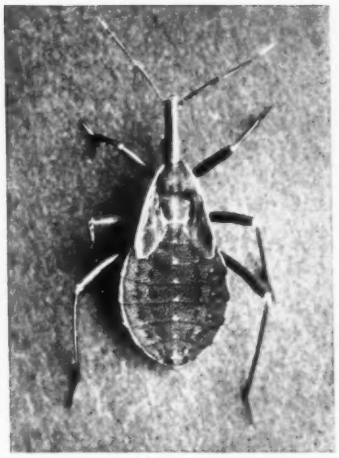


FIGURE 2 – *Larve de* Rhodnius *au 5ème stade.* (× 3)

FIGURE 3 – Rhodnius *adulte issu de la métamorphose de la larve de 5ème stade.* (× 2,5)

FIGURE 4 – *Larve de* Rhodnius *au 5ème stade encore vivante plus de onze mois après décapitation.* (× 2)

FIGURE 5 – *Adulte géant de* Rhodnius *issu de la métamorphose d'une larve de 6ème stade.* (× 2)

FIGURE 6 – Rhodnius *du 1er stade, décapitée et reliée à une larve de 5ème stade.* (× 3)

FIGURE 7 – *Larve géante (6ème stade) de* Rhodnius *obtenue par implantation du* corpus allatum *d'une jeune larve (sécrétant l'hormone juvénile). L'emplacement de l'implantation apparaît sous forme d'une cicatrice sur l'abdomen.* (× 2,5)

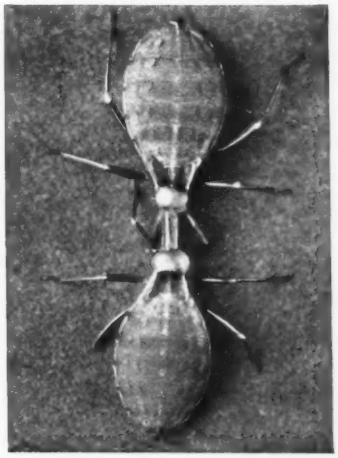


FIGURE 8 – *Larve de* Rhodnius, *4ème stade, décapitée une semaine après le repas et reliée à une autre larve de même stade décapitée 24 heures après le repas. L'hormone de mue du premier insecte détermine la mue du second.* (× 3)

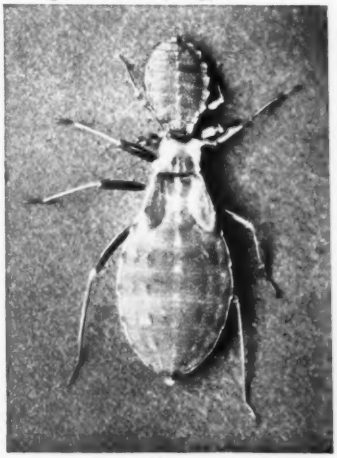


FIGURE 9 – *Jeune larve de* Triatoma *(en haut) décapitée vingt-quatre heures après le repas et dont la mue a été induite par liaison avec une larve de 5ème stade de* Rhodnius *décapitée dix jours après le repas.* (× 3)

(a) (b) (c)

FIGURE 10 – *Chrysalides de ver à soie;* (a) *issue d'une larve chez laquelle les* corpora allata *ont été extirpés au 3ème stade;* (b) *issue d'une larve traitée de la même manière au 4ème stade;* (c) *issu d'une larve normale se nymphosant après le 5ème stade. (D'après Fukuda.)* (× 1,5)

(a) (b) (c)

FIGURE 11 – *Cocons de soie contenant les trois chrysalides de la figure* 10. *(D'après Fukuda.)* (× 1,3)

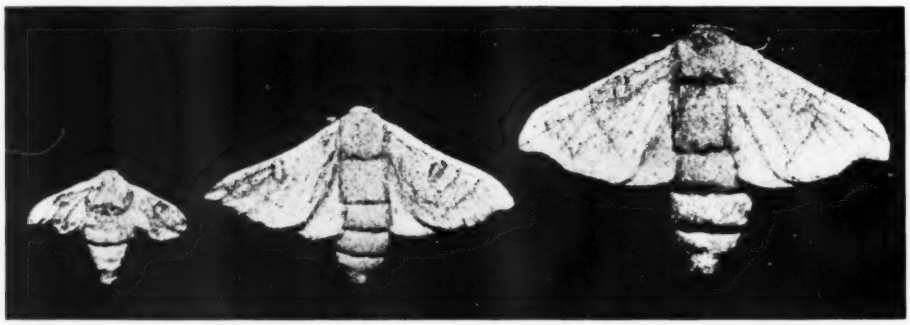
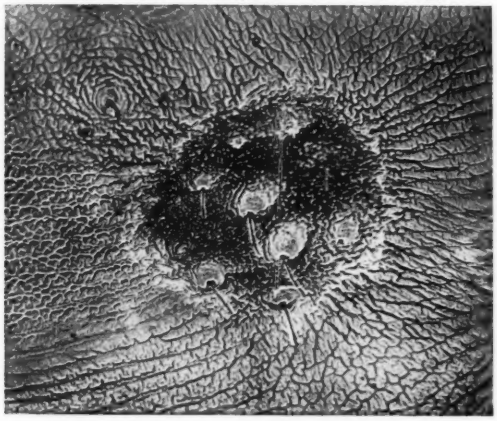


FIGURE 12 – *Papillons issus des trois chrysalides de la figure* 10. *(D'après Fukuda.)* (× 1,5)

FIGURE 13 (*à gauche*) – Rhodnius *montrant des caractères intermédiaires obtenu par implantation du* corpus allatum *d'une jeune larve dans l'abdomen d'une larve de 5ème stade* (cf. *figure* 7). (× 3)

FIGURE 14 (*au dessous*) – *Cuticule de l'abdomen d'un* Rhodnius *adulte traité pendant son 5ème stade comme les insectes des figures* 7 *et* 13. *On a obtenu un adulte normal, mais il y a une petite plage de cuticule de type larvaire, de moins d'un mm de diamètre, recouvrant l'emplacement de l'implantation du* corpus allatum. (× 65)



restent latents pendant la vie larvaire; l'étude physiologique de la métamorphose revient donc à l'analyse des facteurs qui contrôlent la manifestation de ces caractères imaginaux.

Un grand nombre d'hypothèses ont été proposées dans le passé; mais les travaux des années récentes ont accumulé les preuves en faveur d'une régulation exercée au moyen d'hormones. Il s'est révélé fructueux d'utiliser d'abord pour les expériences un insecte hémimétabole; c'est-à-dire, un insecte qui ne présente pas l'extrême degré de transformation conduisant de la chenille au papillon, mais pour lequel les stades jeunes ne sont pas très différents de l'adulte et chez qui la métamorphose se traduit par le développement des ailes et des organes génitaux ainsi que par d'autres modifications structurales accomplies sans nécessité d'un stade nymphal intermédiaire.

La punaise hématophage Sud-Américaine *Rhodnius* qui atteint 2 cm de long à l'état adulte s'est révélée très utile comme animal expérimental [8, 9, 10, 11]. Tous les insectes au cours de leur croissance subissent une série de mues pendant lesquelles l'épiderme se décolle de l'ancienne cuticule, en dépose une nouvelle plus grande, l'ancienne étant enfin rejetée. Comme notre petite punaise des lits *Cimex*, *Rhodnius* mue cinq fois et à chacun de ses stades jeunes délimités par deux mues successives il n'a besoin que d'un seul repas de sang, d'ailleurs gigantesque. C'est à la cinquième mue qu'il se métamorphose et devient adulte (figures 1–3).

La mue chez *Rhodnius* est précédée d'une croissance, d'une réorganisation et du dépôt de la nouvelle cuticule pour le stade suivant. Ce processus dans son ensemble est mis en mouvement par la sécrétion de certaines grandes cellules nerveuses modifiées (cellules neurosécrétrices) situées à la face dorsale du cerveau. Si l'on décapite la punaise dans la journée qui suit son repas de sang, elle ne mue pas, bien que de telles punaises décapitées puissent rester vivantes plus d'une année (figure 4). Cependant, si l'on transplante la région du cerveau contenant les cellules sécrétrices dans l'abdomen d'un de ces insectes décapités la mue se fait normalement et, chose assez surprenante, s'il s'agit d'un jeune insecte à un stade précoce du développement, il va se métamorphoser et donner un adulte nain.

Ainsi semble-t-il le cerveau sécrète une hormone de mue. Chez *Rhodnius* on a supposé qu'elle agit directement sur les organes en croissance; mais chez les chenilles et les chrysalides de Lépidoptères le processus est plus compliqué. Le cerveau nymphal du ver à soie [13] contient deux groupes de cellules, produisant apparemment deux sécrétions différentes lesquelles doivent être présentes toutes les deux pour que la mue puisse se réaliser. Les produits sécrétés ne doivent pas agir directement sur les tissus, mais sur un autre organe sécréteur, la glande prothoracique qui, en réponse, produit une sécrétion nécessaire à la croissance et à la mue. On ne connaît pas la nature de ces substances. Mais on peut démontrer l'existence de modifications dans le sang des insectes au moment de la mue et de la nymphose, par exemple, des accroissements des quantités de cytochrome oxydase et de cytochrome C dans la nymphe de grands vers à soie [13] et l'activation de la tyrosinase dans le sang des larves de mouches à viande à la pupaison [2]. Il reste à décider si l'on doit identifier une de ces substances à l'hormone elle-même, ou si elles ne sont que des conséquences de son activité.

L'implantation de cellules du cerveau productrices de l'hormone de mue dans l'abdomen d'un *Rhodnius* décapité provoque l'apparition de la métamorphose, même chez un insecte jeune dont la croissance est loin d'être achevée. Ce résultat suggère que la tête produit un second facteur qui normalement empêche la métamorphose dans les stades jeunes. On a prouvé l'existence d'un tel facteur, auquel on a donné le nom d'hormone juvénile et qui est sécrété par une glande à sécrétion interne spéciale appelée *corpus allatum*. Le *corpus allatum* est situé juste derrière le cerveau et présente quelques ressemblances remarquables avec la partie glandulaire de la glande pituitaire des mammifères.

Rhodnius passe par cinq stades larvaires avant de devenir adulte. Si l'on retire le *corpus allatum* d'une larve jeune et qu'on l'implante dans l'abdomen d'une larve de cinquième stade, quand celle-ci mue, il n'y a pas métamorphose donnant un adulte mais on obtient une larve géante ou larve de sixième stade (figure 7). On a même produit par ce moyen une larve de septième stade et quelques-unes des larves de sixième stade se sont transformées ensuite en adultes géants (figure 5 et cf. figure 6).

Au contraire, la décapitation d'un *Rhodnius* jeune, au moment où commence la mue, provoque une métamorphose précoce du corps. Il n'a pas été possible de retirer le *corpus allatum* d'un *Rhodnius* vivant sans pratiquer de blessure à la tête et au cerveau. Mais on a pu pratiquer cette opération chez d'autres insectes et les résultats obtenus sur *Rhodnius* en ont été amplement confirmés. Les

Phasmes, *Dixippus* [6], traités de cette manière commencent à pondre encore tout petits. Les Blattes [7] deviennent prématurément adultes. Les vers à soie [1, 3] donnent de petites chrysalides qui donnent le jour à de minuscules papillons [figures 10–12].

L'hormone juvénile est sécrétée tout au long des quatre premiers stades larvaires de *Rhodnius*. Durant le cinquième stade la sécrétion cesse. Le *corpus allatum* d'une larve de cinquième stade implanté dans l'abdomen d'une autre larve de cinquième stade n'empêche pas la métamorphose. Chez l'insecte adulte, cependant, la production de cette hormone recommence. Elle est ici nécessaire pour la maturation des œufs. Si l'on décapite la femelle adulte après le repas aucun œuf ne se développe, mais leur développement se fait normalement si l'on implante le *corpus allatum* dans l'abdomen. Le *corpus allatum* d'un adulte mûr, transféré dans l'abdomen d'une larve de cinquième stade, empêche la métamorphose et conduit à un sixième stade larvaire.

Il est évident que ces hormones servent seulement à diriger la manifestation de caractères latents à l'intérieur des cellules. Il n'est donc pas surprenant de trouver que leur action ne se limite pas à l'espèce d'insecte dont on les tire. Le sang d'un *Rhodnius* en train de muer peut induire la mue d'une larve décapitée du genre voisin *Triatoma* (figure 9 et cf. figure 8) ou même d'une larve de punaise des lits *Cimex*. On peut empêcher une larve de cinquième stade de la punaise des lits de devenir adulte en lui transfusant le sang d'une jeune larve de *Rhodnius* contenant l'hormone juvénile.

Le développement normal d'un insecte, avec suspension de la métamorphose jusqu'à l'achèvement de la croissance et, le moment venu, activation de la différenciation imaginale, demande évidemment une régulation très délicate des processus. Les hormones doivent être libérées au moment opportun et en quantités requises. Si ces conditions ne sont pas satisfaites, comme il arrive par exemple dans quelques expériences, lors de la transplantation du *corpus allatum* d'un jeune *Rhodnius* dans une larve de cinquième stade, la quantité d'hormone juvénile peut être trop petite ou arriver trop tard, on obtient alors une métamorphose incomplète donnant des individus intermédiaires entre la larve et l'adulte (figures 13, 14). Des erreurs de cette sorte ne sont pas rares dans la nature. On peut trouver des chenilles avec des lobes alaires et des antennes, ressemblant à des chrysalides à moitié formées; ou bien des chrysalides qui présentent des parties du corps ressemblant à celles de la chenille. De telles anomalies sont plus sujettes à se produire chez les hybrides résultant du croisement d'espèces différentes. Sans doute résultent-elles d'erreurs dans la chronologie des sécrétions d'hormones ou dans leur concentration.

Il semblerait que les cellules d'un insecte jeune contiennent deux systèmes, l'un capable de produire l'insecte adulte, l'autre produisant la larve. En présence de l'hormone de mue seule le système adulte est activé, et la métamorphose se produit. En présence à la fois de l'hormone de mue et de l'hormone juvénile le système larvaire est activé et la métamorphose empêchée. Mais peut-être avons-nous affaire à un seul système dont les activités sont orientées dans l'une ou l'autre direction par la présence ou l'absence de l'hormone juvénile. En dernière analyse, la nature des éléments constituants et le mode d'interaction entre les hormones et l'organisme potentiel latent dans les cellules des tissus sont des problèmes biochimiques. Mais, pour le moment, nous ne pouvons que les définir en termes biologiques.

Une fois arrivé au stade adulte, l'insecte ne mue plus, sauf dans les formes les plus primitives. On peut aussi faire muer l'adulte de *Rhodnius* en le joignant à un jeune insecte en train de muer de telle sorte qu'il y ait mélange des sangs. Si, au même moment, on fournit à cet adulte un supplément d'hormone juvénile par implantation de *corpora allata* la nouvelle cuticule formée sur l'abdomen présente, sans erreur possible, des caractères larvaires (figure 14). Il y a eu renversement partiel de la métamorphose, retour partiel à la jeunesse.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Bounhiol, J. J. *Biol. Bull.*, Suppl., **24**, 1, 1938.
[2] Dennell, R. *Proc. Roy. Soc.*, B, **136**, 94, 1949.
[3] Fukuda, S. *J. Fac. Sci. Tokyo Imp. Univ.*, (iv), **6**, 477, 1944.
[4] Geigy, R. *Rev. suisse Zool.*, **48**, 483, 1941.
[5] Luescher, M. *Ibid.*, **51**, 531, 1944.
[6] Pflugfelder, O. *Z. wiss. Zool.*, **149**, 477, 1937.
[7] Scharrer, B. *Endocrinology*, **38**, 35, 1946.
[8] Wigglesworth, V. B. *Quart. J. micr. Sci.*, **77**, 191, 1934.
[9] *Idem. Ibid.*, **79**, 91, 1936.
[10] *Idem. J. exp. Biol.*, **17**, 201, 1940.
[11] *Idem. Ibid.*, **25**, 1, 1948.
[12] *Idem. Symposia Soc. Exp. Biol.*, **2**, 1, 1948.
[13] Williams, C. M. *Growth Symposium*, **12**, 61, 1948.

Le transfert d'anticorps par le placenta

R. M. CALMAN et JOHN MURRAY

Après un aperçu critique des travaux accomplis sur la transmission placentaire et l'isoimmunisation, l'auteur émet l'hypothèse que les anticorps se dissocient avant de traverser la région placentaire et que leurs éléments constitutifs se recombinent du côté fœtal. Les niveaux plus élevés des antitoxines trouvées dans le fœtus viennent appuyer cette thèse.

Pour résister à l'invasion des forces de la nature l'organisme animal peut mobiliser ses défenses afin d'interdire l'intrusion de substances étrangères dans ses tissus: la création de globulines[1] particulières appelées anticorps, qui sont des spécifiques contre ces substances, constitue une des manières de défense dont il dispose. On dira donc qu'une substance est un antigène pour un organisme, si son injection provoque la formation d'anticorps chez cet animal. Ce principe bien connu de la réaction immune constitue la base même de l'immunologie, et c'est grâce à l'immunité naturelle acquise au contact de doses minimes de substances infectieuses que l'animal parvient à édifier sa résistance à la maladie.

On sait depuis longtemps que le petit reçoit de sa mère une immunité relative contre certaines maladies. Cette immunité a un caractère passif, c'est-à-dire qu'elle tend à s'effacer assez vite tout comme l'immunité passive de l'adulte, contrairement à l'immunité active induite par la stimulation des tissus propres de l'individu qui a, elle, un caractère plutôt permanent.

Tous les mammifères n'acquièrent pas cette immunité de la même manière: certaines espèces la reçoivent par le colostrum, tandis que d'autres l'obtiennent déjà dans l'utérus.

TABLEAU I

Espèce	Dans l'utérus	Par le *colostrum*
Homme	+	−
Rats et souris	+	+
Autres rongeurs	+	−
Ongulés	−	+

Nous nous occuperons maintenant du groupe auquel l'homme appartient.

[1] Pour plus de brièveté dans le texte et les diagrammes, le mot globuline employé à propos d'anticorps ne désigne que la fraction gamma de la globuline.

La tentative la plus ancienne que l'on connaisse en vue de résoudre le problème de la transmission placentaire est celle de Cowper: en 1698 il fit passer du mercure métallique dans la circulation maternelle et il arriva à démontrer la présence de globules du métal dans la circulation du fœtus. On devait prouver par la suite que le transfert provenait de la rupture de capillaires placentaires.

Cependant, il a fallu les découvertes d'Ehrlich et d'autres au sujet des anticorps, à la fin du XIXe siècle, pour que l'attention des chercheurs se porte sur les problèmes de l'immunité naturelle des nouveaux-nés. Peu après Von Behring et ses collègues affirmaient que les anticorps ne pouvaient traverser la barrière placentaire que si elle était d'abord endommagée; ils pensaient d'ailleurs que la grande taille des molécules d'anticorps et la difficulté de leur diffusion dans les membranes empêchaient leur passage par le placenta.

Cette idée fut renforcée en 1902 par les travaux d'Ascoli, qui établit que les protéines étrangères ne traversaient pas le placenta. Les résultats obtenus à Edimbourg en 1907 par Lochead [1] ne confirmèrent cependant pas tout-à-fait ceux d'Ascoli. Après avoir injecté de l'albumine d'œuf dans les veines de lapines pleines, il put isoler cette substance au moyen de précipitine dans le sang fœtal; le sérum de bœuf, par contre, ne passe pas dans les mêmes conditions. Il conclut de ces expériences que le mécanisme de la transmission placentaire était analogue à la sécrétion des glandes endocrines: il ne s'agissait pas d'une simple filtration, mais les fonctions spéciales d'une cellule vivante devaient intervenir dans le processus.

A partir de ce moment-là l'hypothèse de la filtration a profondément influencé les chercheurs. Les mémoires de Halben et Landsteiner, de Schumacher, Römer et Polano [2] ainsi que les travaux de Grosser, sont tous marqués de son empreinte. Il est intéressant de noter que Polano

a décrit la transmission de l'immunité passive de la mère à l'enfant dans sa revue détaillée de la question en 1904. L'antitoxine du tétanos dont il se servit au cours de ces expériences avait été cultivée dans un cheval vivant, ce qui amena une complication ainsi qu'il a été récemment constaté.

Dans son étude anatomique approfondie, Grosser [3, 4] a classé les placentas des animaux en groupes d'après le nombre de couches cellulaires séparant la circulation de la mère de celle du fœtus.

TABLEAU II

Types placentaires	Espèces
Pl. epithelio chorialis ..	Porc Cheval
Pl. syndesmo chorialis ..	Ruminants (en partie)
Pl. endothelio chorialis ..	Carnassiers
Pl. haemo chorialis ..	Rongeurs Insectivores (en partie) Chauves-souris (en partie) Singes Homme

Il était tout naturel de conclure que ces différences entre les placentas des diverses espèces devaient correspondre aux différences de perméabilité placentaire pour des substances de grandeur moléculaire variable. Shimidzu, s'avançant hardiment dans cette voie, classifia la transmission placentaire des teintures d'après leur diffusion dans la gélatine.

L'hypothèse de la filtration exigeait que le passage des substances par le placenta se fît par simple diffusion et par osmose. C'est Rivkin qui l'a contesté le premier, dans une communication personnelle citée par Needham [5], disant que les sangs doivent être iso-toniques mais pas nécessairement homo-toniques.

Au cours de ses travaux d'embryologie chimique, Needham examina la bibliographie traitant de la transmission placentaire et présenta les résultats sous forme d'un tableau synoptique. Il voulait montrer ainsi le rapport existant entre la grosseur des molécules et la barrière anatomique. Il est d'accord avec Rivkin, que nous avons cité, et soutient que la valeur des travaux de Grosser a été méconnue par Wislocki, qui pense que les différences anatomiques sont moins importantes que les différences physiologiques. Il semble malheureusement que dans certains cas le tableau de Needham repose sur des travaux dont la valeur est actuellement contestée.

Le tableau III ne comprend que les auteurs qui ont noté les niveaux respectifs de l'anticorps chez la femme et l'enfant.

Debré, Ramon et collègues (1930), parmi tant d'autres chercheurs qui ont décrit la transmission des anticorps, signalent que dans six cas où la mère était passivement immunisée contre le tétanos ils trouvèrent cinq fois l'anticorps chez l'enfant; dans l'ensemble le niveau était moindre que chez la mère. Le mémoire de ces auteurs présente d'ailleurs un intérêt supplémentaire parce que la présence de l'antitoxine dans le colostrum y est démontrée dans les cinq cas.

Comme on le remarquera par le tableau III, des auteurs plus récents, comme Liebling et Schmitz [6], ainsi que Bryce et Burnet, ont noté des niveaux plus élevés pour les antitoxines de la diphtérie et des staphylocoques, mais ils n'attachèrent pas d'importance à ces observations. On a l'impression, d'ailleurs, que les auteurs eux-mêmes restaient sceptiques à l'égard de tout niveau d'anticorps plus élevé dans le sang du cordon ombilical, parce que cela ne cadrait pas avec la théorie en cours à l'époque.

Il est intéressant de noter ici que plusieurs de ces

TABLEAU III

Auteur	Niveau de l'anticorps chez l'enfant	Anticorps employé
Polano	(1904) Inférieur à celui de la mère	Diphtérie
Polano	(1904) Inférieur à celui de la mère	Tétanos
Stäubli	(1903) Inférieur à celui de la mère	Typhoïde
Schumacher	(1901) Inférieur à celui de la mère	Typhoïde
Wohlgemuth et Massone	(1911) Inférieur à celui de la mère	Staphylocoque
Ten Broeck et Bauer	(1923) Egal à celui de la mère	Tétanos
Etienne	(1899) Supérieur à celui de la mère	Typhoïde
Liebling et Schmitz	(1943) Souvent supérieur à celui de la mère	Diphtérie
Bryce et Burnet	(1932) Souvent supérieur à celui de la mère	Staphylocoque
Barr, Glenny et Randall	(1949) Souvent supérieur à celui de la mère	Diphtérie
Murray, Calman et Levine	(1950) Souvent supérieur à celui de la mère	Staphylocoque

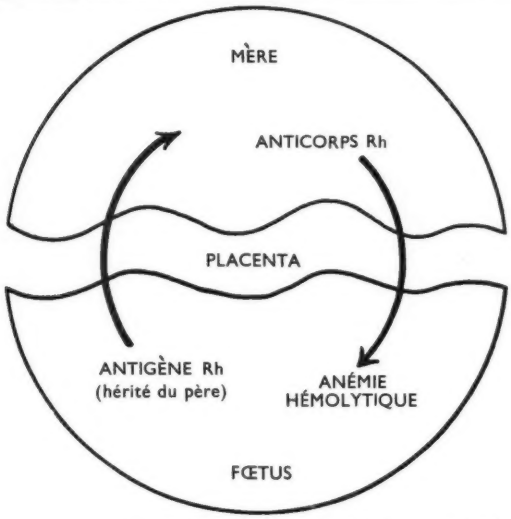


FIGURE 1 – *Illustration du mécanisme de l'isoimmunisation au cours de la grossesse.*

auteurs avaient signalé la présence de quantités appréciables d'antitoxine dans le liquide amniotique. Au cours d'une série d'expériences non-publiées nous avons nous-mêmes vérifié cette découverte dans le cas du staphylocoque antihémolytique.

L'hypothèse de la simple filtration fut également contestée par Timmerman (1931), qui signala une différence entre le passage des agglutinines O et H de la typhoïde de la mère à l'enfant. Il constata que l'agglutinine H traversait le placenta dans la grande majorité des cas, tandis que l'autre passait à peine. Il conclut de ces observations qu'il s'agissait du mécanisme sélectif d'une cellule vivante. Dans la même communication il signala en outre que les agglutinines O étaient plus concentrées que les H dans le colostrum.

Plusieurs années avant 1940 on avait trouvé dans le sérum des femmes multipares des anticorps peu courants, qui avaient le pouvoir d'agglutiner les érythrocytes de bien des gens, y compris ceux des maris, indépendamment du système reconnu des groupes sanguins de Landsteiner. Grâce à la découverte du facteur Rh en 1940 par Landsteiner et Wiener [7], qui recherchaient de nouveaux antigènes de groupes sanguins, Levine [8] et ses collègues parvinrent en 1941 à rattacher la découverte d'anticorps maternels peu courants à celle du facteur Rh, et à identifier la cause de l'hémolyse des nouveaux-nés.

Ces auteurs trouvèrent que dans plus de 90 % des cas, c'est l'immunisation contre le facteur Rh qui provoque l'hémolyse. Cette maladie revêt une grande variété d'aspects selon le degré de sa gravité: dans les cas bénins les bébés ne seront atteints que d'anémie légère, dans les cas modérés d'anémie grave ou peut-être de jaunisse prononcée, tandis que dans les cas les plus graves ils risquent de mourir à la naissance ou d'être morts-nés. Lorsque la maladie se manifeste dans toute son ampleur, il arrive que le fœtus meure au cours de la seconde moitié de sa vie intra-utérine.

La figure 1 montre de façon schématique le processus qui aboutit à cette maladie. On y voit que c'est de son père que le fœtus hérite l'antigène responsable. Il a été prouvé que le mode de transmission héréditaire obéit aux lois de Mendel. Le schéma montre que pour que le cycle de la maladie soit complet il faut que l'antigène du fœtus parvienne à la mère, et l'anticorps de la mère au fœtus.

Dans les années qui suivirent, on démontra que la plupart des cas d'hémolyse fœtale chez l'homme proviennent de l'immunisation Rh. Il n'y a d'ailleurs pas qu'un antigène Rh, mais tout un système compliqué d'antigènes Rh, qui jouent tous le rôle d'antigènes chez ceux auxquels ils font défaut. Les progrès dans ce domaine se sont suivis très rapidement en une avalanche d'articles, si bien

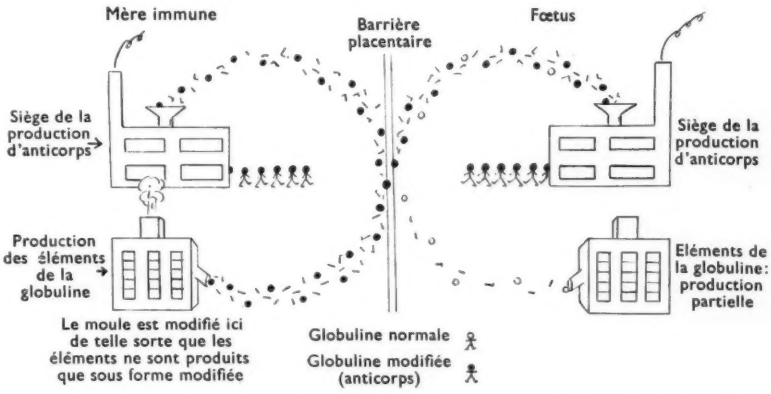


FIGURE 2 – *Ce schéma illustre l'hypothèse de la production et du transfert d'anticorps de la mère au fœtus.*

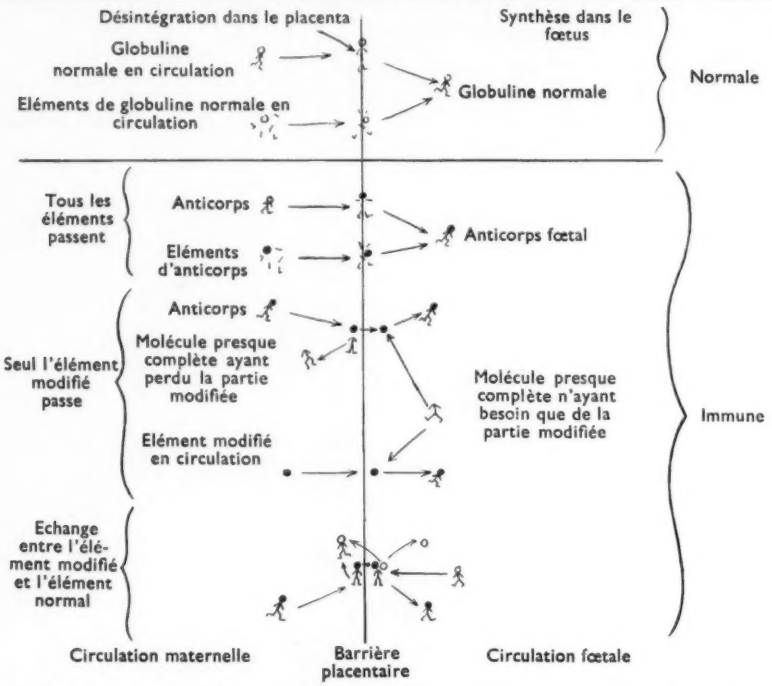


FIGURE 3 – *Ces schémas illustrent les divers modes de transfert de globulines normales et immunes indiqués dans le texte.*

qu'en 1944 R. A. Fisher [9] pouvait faire la synthèse des découvertes des chercheurs de Cambridge. Ce plan génétique était d'autant plus remarquable que Fisher y faisait le postulat de gènes qui n'étaient pas encore découverts à l'époque. Tous ces postulats ont été prouvés expérimentalement par la suite.

Comme on a démontré à maintes reprises qu'il suffit d'une quantité de sang assez minime pour immuniser les hommes ou les lapins, Levine suppose que pendant la grossesse le placenta libère des globules rouges du fœtus en quantité suffisante pour stimuler la production d'anticorps s'ils contiennent des antigènes Rh incompatibles. Il parvint à immuniser des lapines en leur faisant quatorze injections minuscules de sang, ce qui équivaudrait à 0,0672 cm³ de sang pour une femme de 55 kg.

Il se peut que des antigènes Rh du fœtus, contenus dans des érythrocytes entiers ou présents à l'état de produits de désintégration de cellules, parviennent dans la circulation maternelle en quantité suffisante pour renforcer les anticorps qui y sont déjà. L'un d'entre nous estime qu'il en est bien ainsi mais que le processus lui-même doit être amorcé par l'exposition brusque du placenta à une grande dose de l'anticorps en question, par transfusion, par des injections de sang complet, par la rupture de vaisseaux placentaires ou par un infarctus massif du placenta.

Il semble peu probable que la femme ait acquis sa dose initiale d'immunisation alors qu'elle était elle-même un fœtus, bien que cette éventualité soit théoriquement possible dans les cas où la position est renversée, c'est-à-dire lorsqu'il y a une mère Rh positive et un fœtus femelle Rh négatif. Les expériences que nous avons faites jusqu'à présent tendent néanmoins à réfuter cette idée.

Il y avait longtemps que l'on connaissait l'hémolyse des nouveaux-nés chez les animaux domestiques, mais Caroli et Bessis (1947) furent les premiers à apporter la preuve sérologique que la cause de cette maladie est l'iso-immunisation de la grossesse. Ces auteurs ont décrit cet état chez des mules; à la même époque, Coombs et ses collègues de Cambridge étudiaient l'iso-immunisation chez les chevaux de course de Newmarket.

Chez tous ces animaux la maladie fait son apparition après l'allaitement, et il semble que l'anticorps nuisible soit introduit par le colostrum.

Dans des expériences d'appariement, Coombs [10] et ses collègues [11] tentèrent vainement de reproduire la maladie de l'hémolyse chez les lapins, en se servant de la race dite du Professeur Nachtsheim. Ces chercheurs de Cambridge essayèrent alors d'induire l'iso-immunisation expérimentale chez les lapins. Ils réussirent à créer des anticorps chez les femelles en leur injectant du sang des mâles auxquels elles avaient été accouplées. Les auteurs purent prouver en outre que des anticorps avaient passé de la mère au fœtus, parce que les lapereaux avaient de l'anticorps attaché aux cellules de leur sang. Fait remarquable pourtant, ces lapereaux restèrent en parfaite santé et l'on ne put déceler chez eux d'effets cliniques ni hématologiques, bien qu'ils eussent reçu les anticorps attachés aux cellules. Les

auteurs ne sont pas certains, d'autre part, si l'anticorps s'est transmis au fœtus par le placenta, par le colostrum ou par les deux. Des expériences analogues avec des cobayes échouèrent.

L'étude de l'hémolyse chez des animaux autres que l'homme nous porte à conclure que chez les chevaux et les mules, la femelle pleine peut être immunisée contre un antigène fœtal hérité du mâle, mais qu'il n'en résulte aucune maladie pour la progéniture au cours de la gestation. Ce n'est que lorsque le petit a accès au colostrum qu'il devient la victime de l'antigène maternel. Il semble improbable que les rongeurs soient sujets à l'hémolyse. En effet, l'immunisation naturelle de la femelle n'a pas été observée, et, même quand on la provoque artificiellement, la progéniture ne souffre pas d'hémolyse, bien qu'on puisse prouver que l'anticorps a été transmis.

On ne connaît pas encore la nature des substances Rh: bien qu'on affirme en Amérique que des haptènes Rh — les parties spécifiques des antigènes — ont été isolés dans les fractions lipides d'extraits de cellules de sang, il n'a pas été possible de confirmer ces découvertes dans nos laboratoires ni dans d'autres.

Cet antigène Rh ne se rencontre pas uniquement dans les cellules du sang, et Boorman et Dodd (1943) ont pu établir sa présence dans bien d'autres organes au moyen d'une méthode d'inhibition. Dereymaeker (1949) a prouvé la présence de l'antigène dans les tissus cérébraux, Von Bolhuis (1948) dans les tissus placentaires et Witebsky et Mohn (1945) l'ont trouvé en solution dans les liquides amniotiques.

C'est souvent à tort que l'on emploie l'expression transmission placentaire pour désigner toute transmission de la mère au fœtus: en ce qui concerne la lapine, par exemple, Brambell et ses collègues [12–14] ont prouvé qu'en réalité la transmission s'effectue par l'intermédiaire de la splanchnopleure de la vésicule blastodermique (une des membranes du fœtus), et que les agglutinines employées (*Br. Abortus*) ne peuvent franchir le placenta.

Ces travaux prouvent aussi que la cavité de l'utérus de la femelle non-enceinte contient parfois des anticorps; que ces anticorps peuvent passer de la cavité à l'embryon; et que pour que ce passage puisse avoir lieu il est essentiel que la circulation de la vésicule blastodermique soit intacte. Les titres d'anticorps obtenus ne correspondaient pas au titre maternel, et les auteurs pensent que la quantité totale qui passe pourrait être limitée par des facteurs indépendants de la concentration de l'anticorps dans la circulation maternelle.

Ces chercheurs ont montré récemment que la splanchnopleure de la vésicule blastodermique d'un embryon de lapin de 24 jours laisse passer les anticorps élaborés dans la lapine, mais qu'elle retient presque entièrement ceux du bétail et des chevaux. Cette sélectivité s'acquiert précisément entre le 20e et le 24e jour et le moment de son éclosion est bien précis. Ils ont prouvé aussi que cette sélectivité est indépendante de la grosseur de la molécule en se servant d'agglutinines et d'hémolysines de lapins ainsi que d'agglutinines et d'antitoxines de bœufs et de chevaux. Les molécules de bactério-agglutinines de lapins sont relativement petites, tandis que celles des bestiaux et des chevaux sont plutôt grosses. Les hémolysines de lapins immunisés contre les globules rouges de moutons appartiennent au groupe d'anticorps de grande taille. Les anticorps de lapins passèrent toujours tandis que ceux d'une taille similaire des chevaux et des bovidés étaient arrêtés en partie ou exclus complètement. Lorsque la splanchnopleure de la vésicule blastodermique était exposée à un mélange de sérums, ceux-ci ne paraissaient pas se contrarier, et la sélection ne semblait pas être influencée par la masse totale des molécules.

Les considérations théoriques émises à la fin du mémoire en question attribuent la sélectivité de la splanchnopleure du fœtus à des phénomènes cellulaires; les anticorps étrangers seraient fixés ou exclus par les membranes, tandis que les anticorps homologues passeraient dans la membrane pour être libérés par la suite.

Quand on considère le passage d'anticorps de la mère à l'enfant, on constate que si certains types d'anticorps sont bien transmis, d'autres ne le sont qu'à peine ou même pas du tout. On classe les anticorps Rh en deux groupes, ceux qui coagulent les globules rouges appropriés en solution saline et les autres. Les types d'anticorps Rh qui n'agglutinent pas les cellules en solution saline le font en milieu protéique, et tous peuvent se déceler parce qu'ils ont la propriété de «sensibiliser» les érythrocytes. La méthode de détection des cellules «sensibilisées» est due à Coombs [15]. On signale que ces anticorps n'ont pas tous la même aptitude à passer de la mère à l'enfant; en effet, les anticorps «incomplets» ou sensibilisateurs parviennent dans la circulation de l'enfant, mais non les agglutinines salines.

Nous sommes tentés de supposer que le mécanisme de la transmission d'anticorps comporte

une dissociation de la molécule complexe en ses éléments constitutifs, ces derniers traversant le placenta pour reformer l'anticorps dans le fœtus. Nous devrons peut-être supposer en outre que dans chaque anticorps il y a un groupe spécifique, ou un arrangement de groupes qui traverse l'épithélium placentaire sans subir de changement; ces groupes pourraient bien ne constituer qu'une fraction infime de la globuline entière d'anticorps. L'hypothèse de Brambell implique bien le passage de grandes molécules de protéine dans des cellules, mais elle n'explique pas comment il a lieu. Il se peut que la pénétration même d'une cellule s'accompagne de dégradation et de resynthèse, les anticorps homologues n'étant libérés qu'après. On comprendrait ainsi la sélectivité observée, car la recombinaison de protéines étrangères à l'espèce demeurerait improbable. D'autre part, les petits groupes spécifiques que nous avons envisagés traverseraient bien plus facilement une telle barrière placentaire que des globulines entières.

La synthèse de globulines immunes destinées à la circulation du fœtus peut s'effectuer de deux manières principales, qui confirmeraient toutes deux notre hypothèse.

1. L'anticorps maternel peut parvenir à la barrière placentaire sous forme d'éléments constitutifs ou être dissocié par les cellules; la recombinaison peut se faire à la surface même du fœtus ou à une certaine distance de celle-ci.
2. Le groupe spécifique peut passer tout seul, et reconstituer la globuline entière soit à la surface du fœtus, soit à une certaine distance de celle-ci, en empruntant au fœtus le restant de la globuline.

Les figures 2 et 3 décrivent schématiquement ces deux processus.

On voit la différence qu'il y a entre les deux: dans le premier l'anticorps est reconstitué au moyen de matériaux tirés entièrement du côté maternel, tandis que dans l'autre les tissus du fœtus doivent manufacturer des molécules de globuline presque complètes, la circulation maternelle n'ayant à fournir que le groupe spécifique.

En s'appuyant sur des mécanismes de ce genre on comprend mieux, d'une part, pourquoi certains niveaux d'antitoxine sont plus élevés chez le fœtus que chez la mère, ce que fut observé par nous-mêmes et par d'autres, et pourquoi, d'autre part, la quantité de globuline gamma est si élevée dans les sangs du cordon ombilical, comme l'ont remarqué Longsworth et ses collègues (1945) [16].

Nous n'avons pas considéré la manière dont l'antigène passe du fœtus à la mère au cours de l'iso-immunisation de la grossesse. Parallèlement à l'hypothèse suivant laquelle les anticorps parviennent au fœtus par un processus de désintégration et de recombinaison, Coombs suppose que chez certains individus les antigènes se dégradent et se recombinent avec des protéines de la mère après avoir traversé le placenta, redevenant ainsi des antigènes.

Comme on sait que le liquide amniotique contient des quantités appréciables d'anticorps, il pourrait y avoir là un autre passage pour le transfert de l'immunité. Puisqu'on admet que ce liquide passe de la bouche à l'intestin, c'est peut-être ainsi que le fœtus obtient l'immunité au cours de sa vie intra-utérine; c'est d'autant plus probable que les expériences de Potter et d'autres ont prouvé que le liquide amniotique est absorbé par les poumons et les intestins à partir de la douzième semaine de la grossesse.

BIBLIOGRAPHIE

[1] LOCHEAD, J. *Trans. Edinb. Obstetr. Soc.*, **33**, 120, 1907.

[2] POLANO, O. *Z. Geburts. Gynäk.*, **53**, 456, 1904.

[3] GROSSER, O. «Vergleichende Anatomie und Entwicklungsgeschichte der Eihäute und der Placenta mit besonderer Berücksichtigung des Menschen». Vienne. 1909.

[4] *Idem.* «Frühentwicklung, Eihautbildung und Placentation des Menschen und der Säugetiere». Bergmann, Munich. 1931.

[5] NEEDHAM, N. J. T. M. «Chemical Embryology». Cambridge University Press, Londres. 1931.

[6] LIEBLING, J., et SCHMITZ, H. E. *J. Pediat.*, **22**, 189, 1943.

[7] LANDSTEINER, K., et WIENER, A. S. *Proc. Soc. exp. Biol.*, **43**, 223, 1940.

[8] LEVINE, P., KATZIN, E. M., et BURNHAM, L. *J. Amer. med. Assoc.*, **116**, 823, 1941.

[9] RACE, R. R. *Nature*, **153**, 771, 1944.

[10] Report of Discussion. *Proc. R. Soc. Med.*, **43**, 347, 1950.

[11] HEARD, D. H., HINDE, I. T., et MYNORS, L. S. *J. Hyg. Camb.*, **47**, 119, 1949.

[12] BRAMBELL, F. W. R., HEMMINGS, W. A., et ROWLANDS, W. T. *Proc. Roy. Soc.*, B, **135**, 390, 1948.

[13] BRAMBELL, F. W. R., HENDERSON, M., PARRY, H. J., et ROWLANDS, W. T. *Ibid.*, B, **136**, 131, 1949.

[14] BRAMBELL, F. W. R., HEMMINGS, W. A., HENDERSON, M., et ROWLANDS, W. T. *Ibid.*, B, **137**, 239, 1950.

[15] COOMBS, R. R. A., MOURANT, A. E., et RACE, R. F. *Lancet*, **ii**, 15, 1945.

[16] MARRACK, J. R. «Barcroft's Researches on Prenatal Life», **i**, 277, 1946.

La sexualité chez l'abeille

ANN R. SANDERSON et D. W. HALL

Chez les abeilles, les guêpes et les fourmis, la parthénogénèse ne donne que des mâles. Toutefois, des ovules d'ouvrières peuvent donner naissance à des reines chez *Apis mellifica unicolor* var., et chez *Habrobracon* on trouve des mâles biparentaux. L'article traite aussi de caractères génétiques, de nombre chromosomique et d'haploïdie, ainsi que du rapport entre l'haploïdie et la taille. On y trouve également une méthode de dénombrement des cellules.

L'étude cytologique de l'abeille, commencée par Von Siebold (1854) et poursuivie par Blochman (1889), Petrunkewitsch (1901), Meves (1907), Nachtsheim (1913) et d'autres, établit que l'œuf non fécondé qui se développe en un faux-bourdon possède seulement la moitié du nombre de chromosomes présents dans l'œuf fécondé. Lors de la maturation du spermatozoïde la réduction habituelle du nombre de chromosomes à sa moitié ne se fait pas, les cellules contenant déjà le nombre réduit ou haploïde. Les femelles, reines et ouvrières, se développent à partir d'œufs fécondés et possèdent le nombre diploïde de chromosomes, soit un lot haploïde dérivé du noyau de l'œuf et un autre lot dérivé du noyau spermatique de fécondation. Les œufs diploïdes produits par la femelle subissent une réduction de diploïde à haploïde immédiatement après la ponte. S'ils ne sont pas fécondés ils contiennent le nombre haploïde et se développent en faux-bourdons; s'ils sont fécondés par un spermatozoïde haploïde ils possèdent le nombre diploïde et donnent des femelles.

Chez certains Hyménoptères, par exemple les Tenthrèdes et les Cynipides, les mâles sont inconnus ou excessivement rares et les œufs, par nécessité non fécondés, ne fournissent pas, comme chez l'abeille, des mâles mais des femelles. Ce type de parthénogénèse est connue sous le nom de thélytoquie et la diploïdie se maintient de génération en génération soit par l'absence de réduction à la maturation (*Thrinax maculata* [18]) soit par restauration du nombre diploïde après réduction temporaire (*Pristiphora pallipes* [4]). (Voir p. 34.)

OUVRIÈRES PONDEUSES

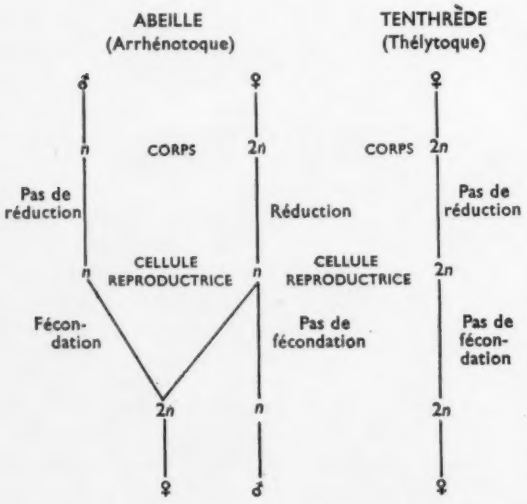
Cependant, chez les abeilles, les guêpes et les fourmis la parthénogénèse est apparemment presque exclusivement du type arrhénotoque, c'est-à-dire productrice de mâles; mais de temps en temps les apiculteurs signalent que des ouvrières d'abeille, probablement vierges, ont donné naissance à une descendance femelle. Une larve d'ouvrière possède normalement environ 30 tubes ovariens par ovaire (la reine en a environ 200; voir figure 1*d*); mais ils commencent à dégénérer avant la vie nymphale et chez l'adulte on retrouve seulement de 2 à 12 tubes (figure 1*a*), si bien que l'ouvrière est une femelle à ovaires dégénérés. La spermathèque est rudimentaire et incapable de recevoir ou d'accumuler le sperme même si les génitalia permettaient l'insémination. Les ouvrières peuvent, dans des conditions spéciales, produire des œufs, mais de telles ouvrières pondeuses se rencontrent très rarement dans les ruches bien tenues. Si pour une raison quelconque la reine cesse de pondre ou se met à produire uniquement des faux-bourdons ou bien si la colonie reste sans reine pendant un certain temps, l'ovaire de quelques ouvrières peut se régénérer (figures 1*b* et *c*). Lors d'un récent examen d'une ruche mal tenue, nous avons constaté qu'environ 80% des ouvrières avaient des ovaires bien développés, quelques-unes avec des œufs mûrs. La spermathèque, dans certains cas était élargie mais jamais aussi large que celle d'une reine. On n'a jamais trouvé de spermatozoïde dans les frottis du contenu des spermathèques d'ouvrières et l'on pense donc que les ouvrières pondeuses ne peuvent pas donner d'œufs fécondés. On doit donc s'attendre à ce que les œufs d'une femelle pondeuse qui se développent produisent uniquement des faux-bourdons. Néanmoins Onions relate, et le fait est confirmé par Jack [11], que dans une race sud-africaine, *Apis mellifica unicolor* var. *intermissa*, les œufs d'ouvrières se développent en reines aussi bien que les œufs fécondés d'une reine accouplée.

CHROMOSOMES ET GÈNES

Un récent travail sur la cytologie de l'abeille [20] a confirmé que chez le faux-bourdon il existe 16 chromosomes à tous les stades du développement des spermatozoïdes: dans les spermatogonies, les spermatocytes et les spermatides. Chez la

reine il y a 32 chromosomes dans l'ovogonie et 16 dans l'ovocyte après réduction chromatique et globules polaires (figures 2*b* et *c*). Les frottis ou les préparations par écrasement sont d'une grande valeur pour la détermination du nombre de chromosomes. Les préparations à l'orcéine acétique font apparaître les chromosomes quelque peu étendus, mais les parois cellulaires sont bien délimitées et les fibres du fuseau ou au moins la silhouette du fuseau se distinguent aisément; on peut ainsi faire des numérations très exactes pour chaque cellule dont le noyau est en division active. Ces chromosomes ne sont pas associés par paires, comme l'ont décrit à tort les auteurs précédents [15] et bien que petits ils montrent pourtant certains traits individuels. Un chromosome crochu (figure 2*a*, h) qui existe dans les cellules haploïdes du mâle se trouve en double exemplaire dans les cellules diploïdes de la femelle.

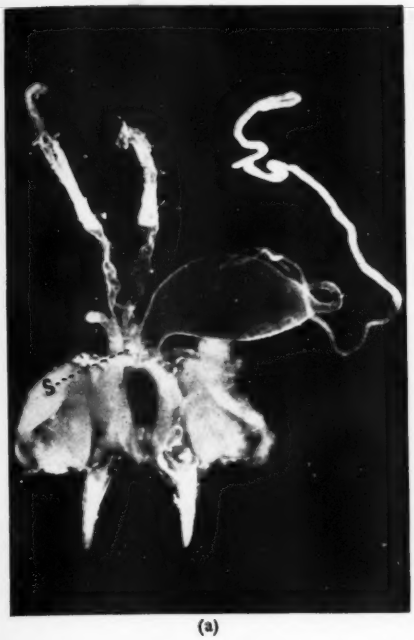
Depuis la publication de ces résultats, Manning [13] assure avoir trouvé ce qu'il considère être un chromosome sexuel chez l'abeille. Il identifie ce chromosome sexuel avec le chromosome crochu précédemment figuré par les auteurs [20]. Suivant Manning ce chromosome après s'être divisé pour donner deux chromatides, est perdu durant la première division abortive de maturation, la spermatide restant ainsi avec 15 chromosomes seulement. Nous n'avons pu confirmer ceci, bien que nous ayons observé la séparation accidentelle de certains chromosomes d'avec la plaque équatoriale. Chez la femelle, Manning trouve seulement 31 chromosomes dans l'ovogonie et considère le chromosome non apparié comme le chromosome sexuel (15 paires + X). Il déclare que durant la maturation de l'œuf le chromosome impair est probablement retenu dans le pronucléus femelle et qu'ainsi la femelle fécondée pond des œufs à 31 chromosomes: 15 venant du pronucléus mâle et 16 du pronucléus femelle.



A la suite d'expériences génétiques, Whiting [22] postule l'existence de gènes déterminant le sexe chez l'*Ichneumon*, *Habrobracon juglandis*. Ils forment une série d'allèles multiples ayant des effets phénotypiques similaires et l'on a déterminé cytologiquement la place approximative de ces segments déterminant le sexe. Les gènes déterminant la femelle sont dominants et la condition hétérozygote diploïde donne une femelle. Dans la condition azygote ou hémizygote haploïde récessive on a un mâle. La condition homozygote diploïde doublement récessive peut produire des mâles, mais ils sont généralement non viables. On considère donc la détermination du sexe comme complémentaire et ne dépendant pas d'un équilibre génique comme dans les types non parthénogénétiques tels que la mouche du vinaigre *Drosophila*.

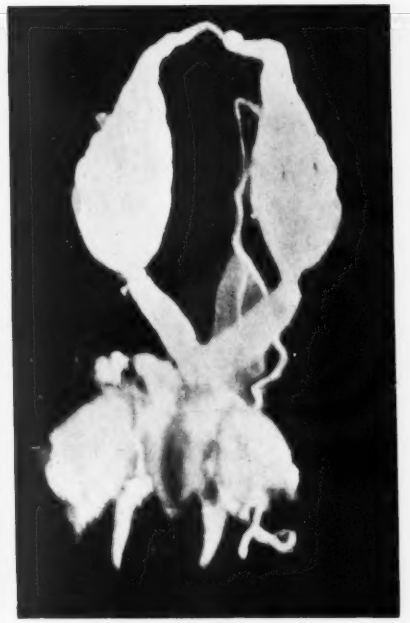
MÂLES BIPARENTAUX

L'existence de femelles uniparentales chez l'abeille, à savoir dans la race sud-africaine est exceptionnelle mais encore plus remarquable est la découverte de mâles biparentaux dans deux espèces d'*Habrobracon* [23, 10], phénomène unique chez les Hyménoptères. Le fait de porter à la fois des caractères paternels et maternels indique qu'ils sont biparentaux et se sont développés à partir d'œufs fécondés. Les apiculteurs soutiennent parfois que les faux-bourdons biparentaux existent chez l'abeille mais la preuve définitive n'en a jamais été apportée. Chez l'abeille il est difficile de contrôler l'accouplement de la reine puisque la copulation a lieu en plein vol; mais on peut maintenant pratiquer avec succès des inséminations artificielles [3]. Ceci lève tout doute relativement à l'origine paternelle des caractères transmis à la descendance. Le sperme pouvant rester vivant dans la spermathèque de la reine pendant deux ans et pouvant même survivre après retrait et réinjection dans une seconde reine, on pourrait maintenant obtenir des croisements entre parents et des combinaisons génétiques, par exemple des croisements père-fille aussi bien que mère-fils. Par cette méthode on assurerait un strict «inbreeding» (croisement entre parents) et l'on pourrait obtenir expérimentalement des mâles biparentaux.



(a)

(b)

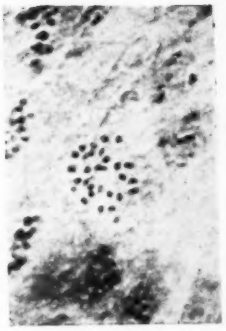


(c)

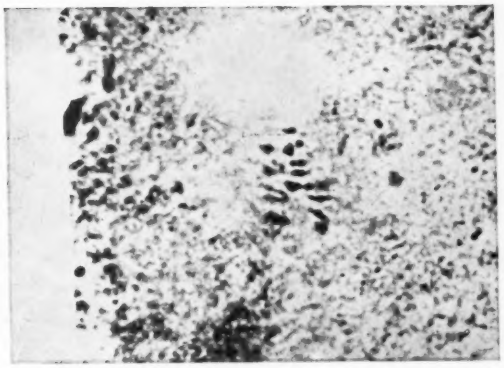
(d)

FIGURE 1 – *Dissection des ovaires et des génitalia de reines et d'ouvrières d'abeille* (Apis mellifica *L.*); (a) *ouvrière normale montrant la spermathèque rudimentaire* **s**; (b) *ouvrière pondeuse montrant un œuf mûr dans l'oviducte et la spermathèque légèrement élargie* **s**, *l'ovaire gauche a été enlevé;* (c) *ouvrière pondeuse montrant les deux ovaires très bien développés;* (d) *reine pondeuse normale montrant la très grande spermathèque* **s**. ((a), (b) *et* (c) × 3, (d) × 7)

(a)

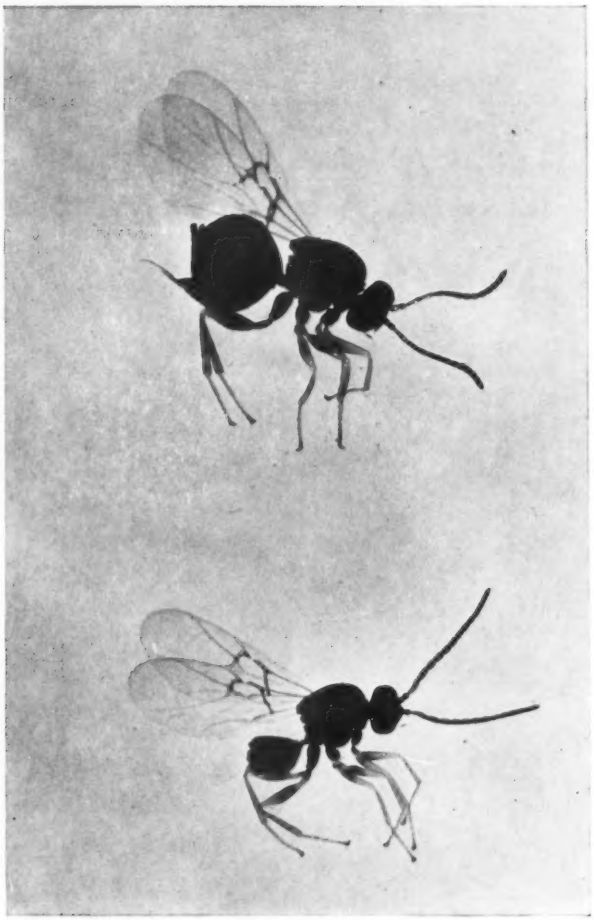


(b)

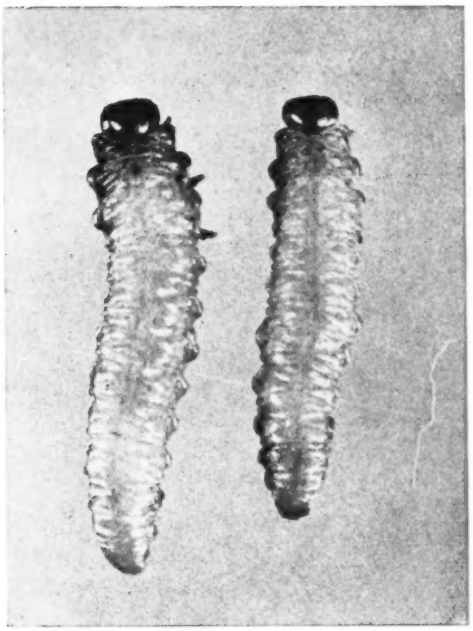


(c)

FIGURE 2 – *Photographies de plaques chromosomiques d'*Apis mellifica *L., colorées à l'orcéine acétique;* (a) *cellule spermatogoniale avec* 16 *chromosomes montrant le chromosome crochu* **h**; (b) *cellule ovogoniale avec* 32 *chromosomes;* (c) *maturation de l'œuf, premier fuseau montrant* 16 *bivalents.* (× 1800)



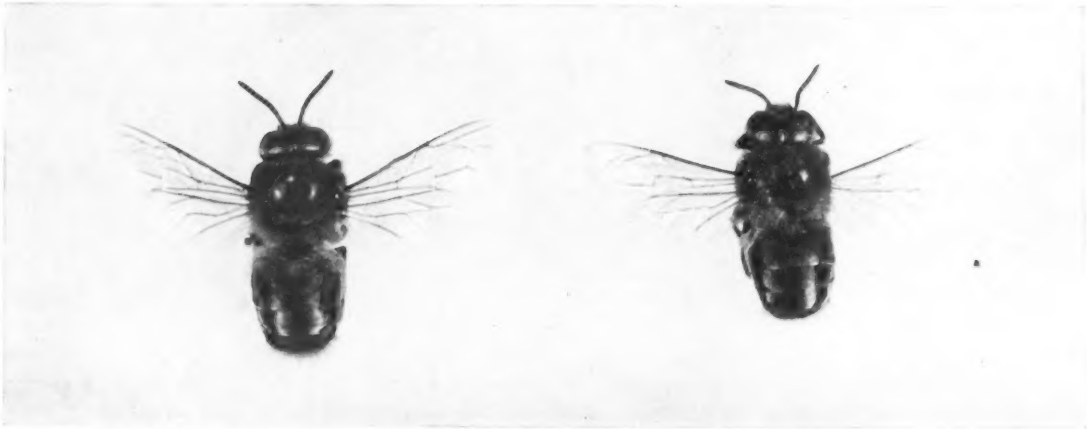
(a)



(b)

FIGURE 3 – *Photographies montrant la différence de taille du mâle et de la femelle chez les Tenthrèdes et les Cynipides:* (a) *Adultes du Cynipide* Andricus curvator *Htg. mâle* en bas, *femelle* au-dessus. (× 10). (b) *Larves* (♀ *à gauche,* ♂ *à droite*) *au dernier stade avant la nymphose de la Tenthrède du groseillier* Pteronidea ribesii *Scop. photographiées à la mue qui précède le filage du cocon et ensuite disséqués pour en vérifier le sexe* (× 6).

FIGURE 4 (en bas) – Apis mellifica *L. Faux-bourdons issus d'une ouvrière pondeuse, élevés dans un rayon d'ouvrière.* (× 2,5)



(*Les photographies* 3b, 4 *et* 5 *sont dues à F. L. Waterhouse.*)

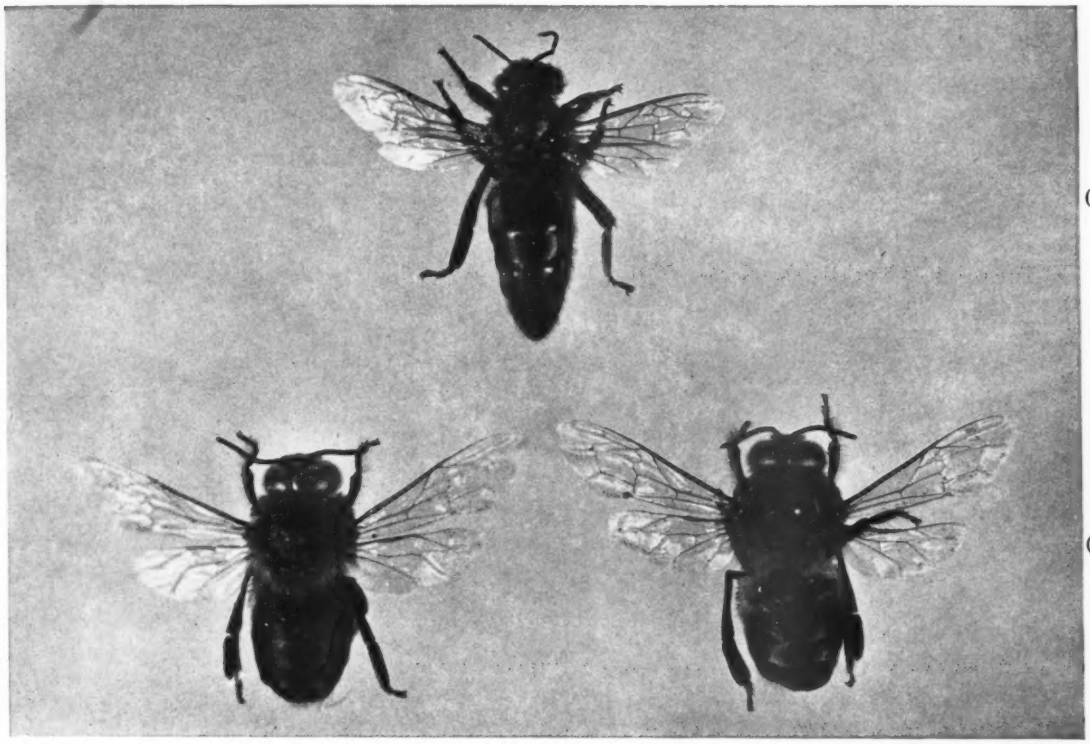


FIGURE 5 – Apis mellifica *L.*; (a) *reine pondeuse fertile;* (b) *faux-bourdons normaux issus de rayons à faux-bourdons.* (× 2,5)

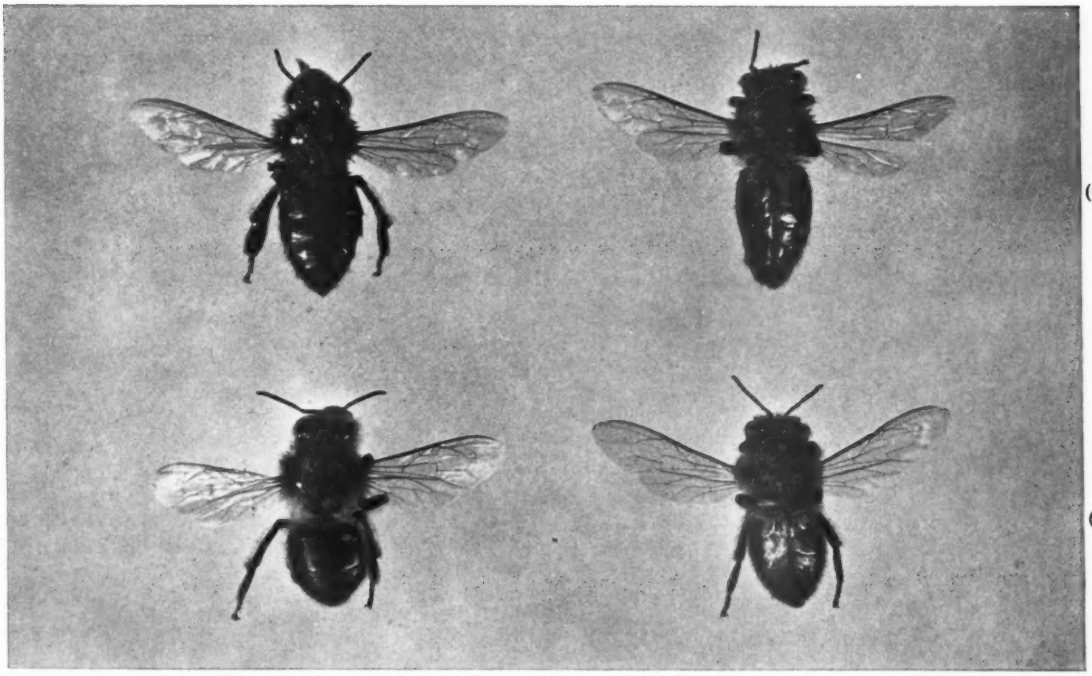


FIGURE 6 – Apis mellifica *L.*; (a) *aspect dorsal* (à gauche) *et ventral d'ouvrières pondeuses; noter l'abdomen plus gros et plus caréné que chez l'ouvrière normale;* (b) *ouvrière normale en vue dorsale* (à gauche) *et ventrale.* (× 2,5)

HAPLOÏDIE ET NOMBRE SOMATIQUE DE CHROMOSOMES

L'examen cytologique révèle que les cellules germinales de ces mâles biparentaux d'*Habrobracon* sont diploïdes. Leur caractère génétique ne nous concerne pas ici, mais leur existence elle-même a conduit à une étude plus profonde des relations haplo-diplo des mâles et des femelles non seulement chez ce Braconide particulier, mais chez les Hyménoptères en général. De sorte qu'aujourd'hui l'intérêt tend à se centrer non pas tant sur la maturation des gamètes que sur la constitution chromosomique des tissus mâles et femelles aussi bien germinaux que somatiques.

Dans les frottis et les préparations par écrasement de gonades d'Hyménoptères en développement on peut facilement obtenir des plaques chromosomiques présentant le nombre non réduit ou diploïde chez la femelle et le nombre haploïde chez le mâle (figures 2*a* et *b*). Les tissus somatiques sont plus difficiles à examiner. De nombreuses divisions mitotiques fournissent de bons résultats, mais ces plaques sont fréquemment polyploïdes contenant non pas les lots haploïdes ou diploïdes que l'on attendait (génomes) mais souvent 3 et plus souvent encore 4 ou 8 génomes. Malheureusement les irrégularités du nombre chromosomique dans les cellules somatiques, aussi bien des animaux que des végétaux, sont beaucoup plus communes qu'on ne le suppose d'ordinaire et pas seulement dans le sens polyploïdie. Berger [1] a trouvé que la ségrégation somatique se produit régulièrement dans le tube digestif de la larve de moustique et, plus récemment, Huskins [9] et ses collègues ont trouvé une ségrégation ou une réduction à la condition haploïde (ou les deux) dans les pointes de racine de l'oignon.

On peut démontrer facilement, chez l'abeille, la relation haplo-diplo dans les cellules reproductrices, mais beaucoup moins facilement dans les cellules somatiques. Ainsi, au cours de son développement, un faux-bourdon possède 16 chromosomes dans les spermatogonies et les spermatocytes, mais peut en avoir 32 dans les cellules de l'enveloppe épithéliale du testicule et 16, 32, 64 ou plus dans l'hypoderme ou les cellules trachéales en développement. De la même manière, une reine en développement peut en avoir 32 dans l'ovogonie et 32, 64, 128 etc. dans les cellules du follicule ovarien ou les tissus imaginaux. Si nous considérons le nombre trouvé dans les gonies comme le nombre somatique de base, le faux-bourdon est un individu haploïde et la femelle un individu diploïde.

En raison de certaines affirmations semblables à celle de Whiting selon laquelle «les faux-bourdons diploïdes de l'abeille se reproduisent comme des haploïdes bien que produisant des spermatozoïdes diploïdes», il semble qu'il est temps de donner une meilleure définition de ce qu'on entend par organismes diploïdes et haploïdes. Dans cet article les termes haploïde et diploïde sont utilisés pour caractériser la condition des cellules reproductrices primaires, haploïde si un seul génome est présent (mâle), et diploïde s'il y en a deux (femelle).

HAPLOÏDIE ET TAILLE DU CORPS

C'est un fait évident que, chez les Hyménoptères non sociaux, la taille moyenne des mâles est plus faible que celle des femelles, par exemple chez les Tenthrèdes et les Cynipides (figures 3*a* et *b*). Nous ne savons pas si la taille plus petite des mâles est due au fait qu'ils ont des cellules relativement plus petites que celles des femelles ou bien s'ils possèdent un plus petit nombre de cellules de taille normale. Des comparaisons de tailles cellulaires chez les types arrhénotoques ont été faites par Oehninger [16] et Whiting [22]. Ce dernier trouve que chez le mâle haploïde d'*Habrobracon*, les cellules sont presque aussi grandes que celles des femelles, tandis que les mâles diploïdes ont des cellules plus grandes que celles des femelles diploïdes.

Chez les insectes sociaux tels que les abeilles, les guêpes et les fourmis les formes sexuées n'offrent pas de grandes différences de taille, encore peut-on rapporter les différences à une nourriture spéciale pendant la vie larvaire (figures 5*a* et *b*). Quand de faux-bourdons se développent dans des rayons d'ouvrières, ce qui est le cas pour la progéniture des ouvrières pondeuses, leur taille est nettement plus petite que celle des faux-bourdons développés dans leurs propres rayons (figures 4 et 5*b*); il y a donc une influence quantitative de la nourriture. Quant au polymorphisme des femelles d'abeille, la nutrition y joue encore un rôle important. Comme on l'a déjà dit, l'ovaire des jeunes larves d'ouvrières est normal avec environ 30 tubes, mais il commence à dégénérer avant la nymphose. Si plus tard une ouvrière régénère ses ovaires et produit des œufs, son abdomen devient un peu plus gros que celui d'une ouvrière normale à cause de la distension des tubes ovariens par les œufs (figures 6*a* et *b*). Haydak [8] analyse l'action de la nourriture larvaire sur le développement de castes et conclut que les différences morphologiques présentées par la reine et l'ouvrière sont

dues à des différences quantitatives de nourriture. Les larves d'ouvrières reçoivent un stock de nourriture pendant trois jours seulement et sont ensuite nourries progressivement; les reines jouissent d'un stock de nourriture pendant toute leur vie larvaire. La taille de l'ouvrière d'abeille n'est donc pas un critère pour la comparaison avec celle du mâle, l'ouvrière étant une femelle stérile très spécialisée.

Pour établir la relation haplo-diplo du soma chez le mâle et la femelle d'abeille où la polyploïdie domine tellement, il sera nécessaire de préciser si les cellules utilisées pour compter les chromosomes sont de génération comparable. On peut contrôler ceci en comptant le nombre de cellules d'une structure particulière, par exemple d'un ganglion nerveux où la polyploïdie n'est pas aussi dominante. On peut alors comparer les tailles des cellules et obtenir le nombre de chromosomes des cellules en mitose de même génération.

Des recherches récentes d'ordre biochimique suggèrent une nouvelle méthode d'étude [5]. Chez plusieurs vertébrés examinés il existe dans toute cellule somatique du corps une quantité mesurable d'un certain constituant nucléaire, l'acide désoxyribose nucléique (A.D.N.) et cette quantité est constante pour un type de cellule donné. Comme on peut s'y attendre, la quantité de A.D.N. du noyau spermatique est moitié de celle du noyau somatique normal. En déterminant la A.D.N. pour une espèce particulière et la quantité par unité de poids on peut déterminer le nombre de cellules d'un échantillon. Si l'on peut appliquer cette méthode avec succès aux tissus d'insectes on pourra, par comparaison des tissus mâles et femelles dans une espèce parthénogénétique, déterminer si les différences de taille du corps sont dues à des différences du nombre des cellules. L'avantage que présenterait l'emploi de cette méthode serait de fournir par le calcul le nombre total des cellules pour l'insecte entier. Sanderson [19], Miles [14] et Smith [21] ont montré que chez certains Tenthrèdes qui donnent des mâles par parthénogénèse haploïde, les larves de mâles dans un lot mélangé peuvent se reconnaître grâce à leur petite taille. Bien que les études cytologiques sur les Tenthrèdes aient suggéré que les cellules haploïdes du mâle sont plus petites que les cellules comparables de la femelle, il est peut-être possible maintenant de reprendre le problème avec cette nouvelle technique. La polyploïdie se rencontre certainement dans beaucoup de tissus, mais son extension est apparemment comparable dans les deux sexes. Ainsi une inexactitude quelconque dans la teneur calculée en acide nucléique par noyau due à la présence d'un certain pourcentage de cellules polyploïdes deviendrait négligeable quant à la comparaison des deux sexes.

Nous n'avons pas considéré jusqu'ici le rôle que pourrait jouer la taille de l'œuf dans la descendance des ouvrières pondeuses et des reines. Flanders [6] pense que l'ovosorption a lieu si l'ovulation de l'œuf est retardée et que la perte résultante de réserves (ou dégénérescence de l'œuf) est la base du polymorphisme chez certains Hyménoptères sociaux. Bien qu'il n'existe aucun fait probant de l'influence du volume de l'œuf sur la taille des embryons qui en résultent chez l'abeille, on peut pourtant citer un travail de même nature poursuivi sur des embryons de grenouille [2] montrant que la petitesse initiale est compensée par une vitesse accrue de la croissance.

Ainsi les différences de taille du corps chez les Hyménoptères peuvent être dues à une ou plusieurs des causes suivantes: (1) nourriture; (2) taille et nombre des cellules en rapport avec leur nombre de chromosomes; (3) taille initiale de l'œuf.

BIBLIOGRAPHIE

[1] BERGER, C. A. *Carnegie Inst. Wash. Pub.*, 496, 1938.
[2] BRIGGS, R. *J. exp. Zool.*, **3**, 2, 285, 1949.
[3] BUTLER, C. G. *Discovery*, **9**, 107, 1948.
[4] COMRIE, L. C. *Nature*, **142**, 877, 1938.
[5] DAVIDSON, J. N., et LESLIE, I. *Ibid.*, **165**, 49, 1950.
[6] FLANDERS, S. E. *Science*, **101**, 245, 1945.
[7] *Idem. Quart. Rev. Biol.*, **21**, 2, 1946.
[8] HAYDAK, M. H. *J. econ. Ent.*, **36**, 5, 1943.
[9] HUSKINS, C. L. *J. Hered.*, **39**, 11, 310, 1948.
[10] INABA, F. *Cytologia*, **9**, 1939.
[11] JACK, R. W. *Trans. ent. Soc. Lond.*, 396, 1916.
[12] MACKENSEN, C. *J. econ. Ent.*, **36**, 3, 465–7, 1943.
[13] MANNING, F. J. *The Microscope*, **7**, Nos. 7–12, 1949; **8**, No. 1, 1950.
[14] MILES, H. W. *Ann. appl. Biol.*, **33**, 4, 1936.
[15] NACHTSHEIM, H. *Arch. Zellforsch.*, **11**, 169–241, 1913.
[16] OEHNINGER, M. *Verh. phys.-med. Ges. Würzburg.*, **42**, 135, 1913.
[17] PEACOCK, A. D., HALL, D. W., SMITH, I. C., et GOODFELLOW, A. *Dept. Agric. Misc. Pub.*, 17, 1949.
[18] PEACOCK, A. D., et SANDERSON, A. R. *Trans. Roy. Soc. Edinb.*, **59**, 647–60, 1939.
[19] SANDERSON, A. R. *Genetica*, **14**, 321, 1932.
[20] SANDERSON, A. R., et HALL, D. W. *Nature*, **162**, 34, 1948.
[21] SMITH, S. G. *Sci. Agric.*, **21**, 5, 244, 1940.
[22] WHITING, P. W. *Quart. Rev. Biol.*, **20**, 3, 231, 1945.
[23] WHITING, P. W. et A. R. *Science*, **62**, 437, 1925.

La nature des échangeurs d'ions

E. GLUECKAUF

L'auteur passe en revue les propriétés des échangeurs résineux de cations, contenant des groupements acides, et d'anions, contenant des groupements aminés. Il traite ensuite des équilibres de distribution et du facteur de séparation, puis de la théorie des échanges d'ions de valences différentes. Il est aussi question du gonflement des résines et d'absorption d'électrolytes, ainsi que du rapport de la spécificité des résines et du degré de jonction interne.

Souvent, un phénomène observé il y a des dizaines d'années, puis presque tombé dans l'oubli, passe subitement au premier plan de l'actualité scientifique. Ce fut le cas pour l'adsorption sur colonne, appelée communément à tort chromatographie, que le biochimiste polonais Tswett découvrait en 1906. Après une longue obscurité, elle s'est développée lentement, d'abord comme moyen de purification, puis de séparation, pour devenir l'un des instruments les plus puissants dont dispose le chimiste pour isoler des corps de mélanges.

Le phénomène d'échange ionique, maintenant solidement associé à l'analyse sur colonne, a une histoire encore plus ancienne. Il y a juste un siècle que Way réalisa son importance dans la chimie des sols [1]. Parmi les premières études physico-chimiques, il faut mentionner le travail de Rothmund et Kornfeld sur les propriétés d'échange des zéolithes, un genre d'aluminosilicate. Ce fut la découverte, par Holmes et Adams, en 1935, d'un échangeur d'ion synthétique [1], permettant la fabrication d'échangeurs d'ions à propriétés bien définies et reproductibles, qui a élevé leur emploi au niveau d'une technique importante, dont les applications envahissent peu à peu toute la science et l'industrie.

TYPES D'ÉCHANGEURS D'IONS

On fabrique en général les résines par polymérisation: condensation de polyphénols avec le formol, ou substances du type polystyrène, copolymérisés par addition de quantités variables de divinylbenzène (voir figure 1). On peut introduire les groupes échangeurs avant ou après condensation, par exemple, par une sulfonation consécutive.

Echangeurs de cations. Ce sont des résines qui contiennent des groupements acides; tels $—SO_3H$, $—CO_2H$, ou l'hydroxyle phénolique. Le premier type se comporte comme un acide fort, et échange son hydrogène aussi bien à tous les *p*H, mais les résines carboxyliques ne fonctionnent qu'en milieu de *p*H moyen ou élevé, parce que dans le groupe $—CO_2H$, peu dissocié, l'hydrogène se remplace difficilement par d'autres ions, s'il y a encore un excès d'ions hydrogène dans la solution ambiante. Ceci est encore plus vrai des résines à groupement —OH qui, comme les phénols, ne cèdent leur hydrogène qu'en solution très alcaline. Cependant, alors qu'il faut manifestement un échangeur à sulfonate pour travailler en solution acide, les résines carboxyliques présentent bien des avantages en solution neutre, car leur capacité est très grande (jusqu'à 10,5 équivalents par kg, contre 4,8 pour les meilleurs sulfonates) et, en plus, elles sont souvent plus sélectives dans leurs propriétés vis-à-vis d'ions différents.

Un nouveau type, peut-être promis à un grand avenir est celui des résines de «chélation» [2]. Elles sont très sélectives pour les éléments des groupes de transition, et permettent de récupérer des produits rares à partir de solutions extrêmement diluées.

Echangeurs d'anions. De même que les résines à groupement acide jouent le rôle d'échangeurs de cations, celles qui portent des groupes aminés deviennent des adsorbants ou échangeurs d'anions. Les groupes amino des premiers échangeurs d'anions étaient très faiblement basiques et n'adsorbaient pas les anions en solution alcaline, mais les produits récents utilisent des groupes substitués comme

$$—N(CH_3)_3^+, —N(CH_3)_2(CH_2C_6H_5)^+,$$

et

$$—N(CH_3)(CH_2C_6H_5)_2^+,$$

de caractère plus basique. Ce dernier type est si basique qu'une solution de sel de sodium qui en traverse une colonne ressort à l'état de solution d'hydroxyde de sodium pur. Elle convient donc idéalement à éliminer le carbonate des solutions de soude caustique.

Les échangeurs d'anions comme de cations sont

manufacturés sous diverses formes, par exemple, granulaires et sphériques, et certains sous forme de baguettes, plaques et membranes. On peut modifier considérablement leurs propriétés physico-chimiques en agissant sur les produits de départ, et le degré de jonction interne entre les chaînes polymères.

CHIMIE PHYSIQUE DES ÉCHANGEURS D'IONS

Equilibre de distribution. Un caractère important de l'échangeur d'ion réside dans son aptitude à choisir parmi les ions, c'est-à-dire, à en adsorber préférentiellement une variété plutôt qu'une autre. Cette propriété se définit par le facteur de séparation k_s:

$$k_s = \frac{X_2 c_1}{X_1 c_2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

X_2/X_1 représente le rapport des fractions moléculaires des ions I et II au sein de la phase résine, en équilibre avec les ions en solution aux concentrations correspondantes c_1 et c_2 dans la phase aqueuse. Ce facteur n'est pas nécessairement constant sous diverses conditions; ainsi, il peut dépendre de la concentration totale de la solution aqueuse, ou du rapport X_2/X_1, ou de la présence d'un troisième corps dissous. Pour séparer facilement deux corps dissous, il importe que k_s soit aussi différent que possible de l'unité. k_s est un paramètre important dans les équations déduites de la théorie de la séparation chromatographique sur colonne. Plus il diffère de un, plus courte peut être la colonne requise pour une quantité donnée de mélange à séparer, plus l'écoulement peut être rapide, et plus nettes seront les limites de séparation des diverses zones. Naturellement, on a fait beaucoup de recherches [3, 4, 5] pour déterminer les facteurs de séparation pour divers ions, et on a observé quelques lois générales.

D'une façon générale, l'affinité de l'échangeur pour un ion croît avec la charge ionique de celui-ci. On a ainsi l'ordre $Th^{4+} > Al^{3+} > Ca^{2+} > Na^{+}$. Pour une valence donnée, on peut exprimer l'ordre de bien des façons: l'affinité croît avec le poids atomique, avec le rayon de l'ion non solvaté, ou décroît avec le rayon de l'ion solvaté. Quelle qu'en soit l'explication, l'ordre est en général: Cs > Rb > K > Na > Li, et Ba > Sr > Ca > Mg > Be, enfin La > Al. NH_4^+ se comporte plutôt comme le potassium. Il est en général légèrement plus adsorbé. La place de l'ion hydrogène varie suivant l'échangeur. Pour ceux qui sont faiblement acides, échangeurs à carboxyles, par exemple, c'est l'ion monovalent le plus fortement adsorbé, et il entre probablement dans une liaison covalente; pour les échangeurs très acides contenant des groupes sulfonates, son affinité est intermédiaire entre celles de Li et de Na, et il se rapproche en général du premier; aussi pense-t-on qu'il est contenu dans la résine sous forme d'ion hydraté.

L'affinité pour les ions ammoniums substitués croît avec leurs dimensions:

$$NH_4^+ < (NH_3CH_3)^+ < NH_2(CH_3)_2^+ < N(CH_3)_4^+ < N(C_2H_5)_4^+.$$

On atteint cependant une limite, car de très gros cations, comme $N(C_2H_5)_2(CH_2C_6H_5)_2^+$ ne peuvent diffuser à travers certaines résines.

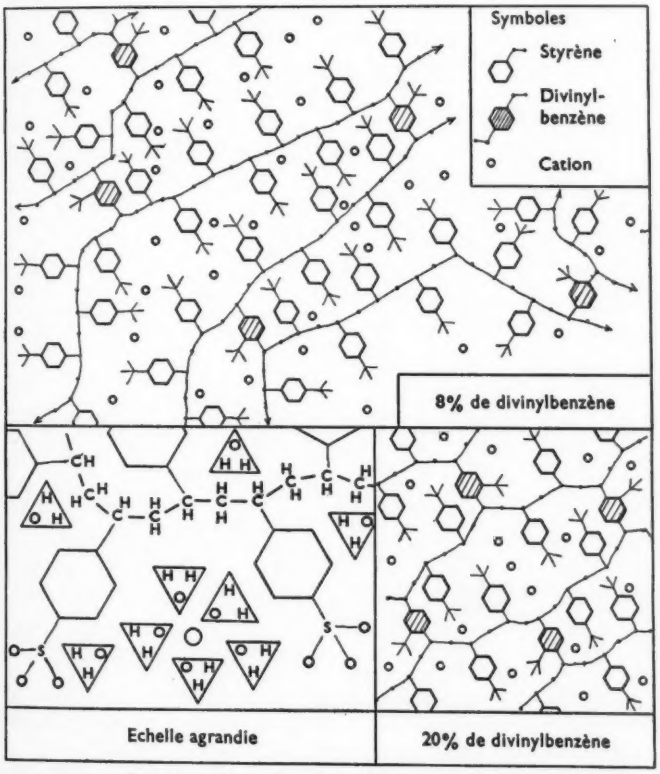


FIGURE 1 – *Représentation schématique d'échangeurs à polystyrène sulfoné avec jonction entre chaînes. Remarquer la rigidité accrue des jonctions lorsqu'il y a une proportion élevée de divinylbenzène.*

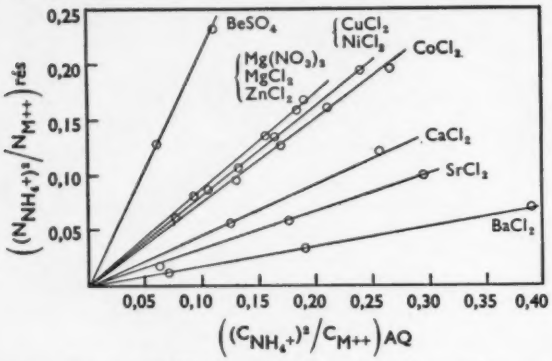


FIGURE 2 – *Vérification de l'équation 3 pour l'échange d'ions de valences différentes. (D'après Kitchener et Kressman* [5].)

Il n'y a pas de règles simples pour les éléments de transition. Les ions monovalents Tl^+ et Ag^+ sont plus adsorbés que d'autres de même valence, mais les affinités de Cu, Ni et Co, par exemple, sont intermédiaires entre celles de Mg et Ca (voir figure 2).

Quand des ions de valences différentes s'échangent, c'est surtout de la concentration totale que dépend la place du facteur de séparation k_s, par rapport à l'unité, c'est-à-dire, celui des ions qui est plus fortement adsorbé que les autres. Soient des ions I et II, de valences v_1 et v_2 ($v_1 > v_2$) c_1 et c_2 les concentrations aqueuses, et x_1 et $x_2 = 1 - x_1$ les concentrations équivalentes dans la phase résine. En négligeant le mouvement de l'eau pendant l'échange, la réaction stœchiométrique s'écrit:

$$v_2[\mathrm{I}]_{sol} + v_1[\mathrm{II}]_{rés} \rightleftharpoons v_2[\mathrm{I}]_{rés} + v_1[\mathrm{II}]_{sol} \quad ..(2)$$

d'où résulte à l'équilibre, en application de la loi d'action de masse:

$$\left[\frac{c_1}{x_1}\right]^{v_2} \cdot \left[\frac{x_2}{c_2}\right]^{v_1} = k_e \quad ..... (3)$$

Ne pas confondre le facteur d'équilibre k_e avec le facteur de séparation k_s

$$k_s = \frac{X_2 c_1}{X_1 c_2} = \frac{v_1}{v_2}(k_e)^{1/v_2}\left(\frac{c_2}{x_2}\right)^{(v_1-v_2)/v_2} \quad .. (4)$$

Ainsi, bien que l'ion de valence la plus élevée soit plus fortement adsorbé en solution diluée, il résulte de l'équation (4) que par un accroissement considérable de la concentration aqueuse totale on accroît l'affinité relative de l'ion de valence la plus basse (II), et l'adsorption préférentielle exprimée par k_s est parfois complètement renversée.

On s'attend à ce que le facteur d'équilibre k_e soit approximativement indépendant de la concentration aqueuse totale et du rapport des ions dans la phase résine. Effectivement, si on porte $x_1^{v_2}/x_2^{v_1}$ en abscisse et $c_1^{v_2}/c_2^{v_1}$ en ordonnée, on obtient des courbes souvent pratiquement rectilignes (voir la figure 2, tirée de la publication de Kitchener et Kressman [5]).

Les déviations de la linéarité observées parfois viennent d'un certain nombre d'hypothèses simplificatrices, contenues implicitement dans l'équation 3. Pour être strict, il faudrait remplacer les concentrations usuelles ou moléculaires des ions par leurs activités, dans la solution comme dans la phase résine. Pour la phase aqueuse, on peut parfois les calculer à partir de tables, mais, jusqu'à présent, nous ignorons tout des activités dans la phase résine. L'évaluation de leurs valeurs dépend largement des hypothèses introduites par les divers auteurs. De plus, on a négligé, dans les équations 2 et 3, l'entrée et la sortie de l'eau dans la phase résine, dues aux différences d'hydratation des divers ions. Pour en tenir compte, il faudrait non seulement introduire un terme de plus dans l'équation 3, contenant les activités de l'eau, mais encore tenir compte du fait que ces changements affectent aussi les activités ioniques dans la phase résine. Pour des concentrations aqueuses élevées, encore un autre facteur entre en jeu: la résine adsorbe des électrolytes en plus des ions échangeables, ce qui affecte considérablement la «concentration» interne, et les coefficients d'activité.

Pour des résines à haute capacité, ces déviations

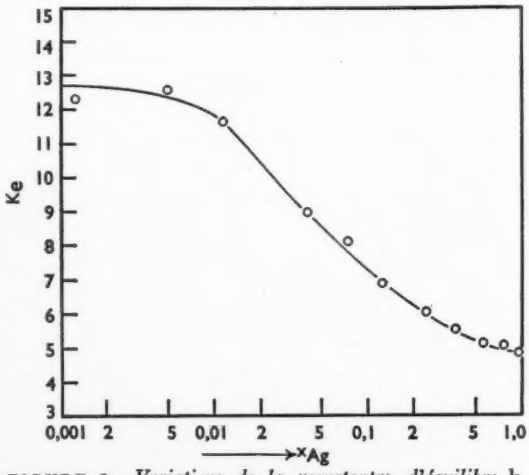


FIGURE 3 – *Variations de la «constante» d'équilibre* k_e *dans l'échange de l'argent avec le sodium sur Dowex* 50, *avec la proportion d'argent sur l'échangeur* [7].
$k_e = x_{Ag}a_{Na}/x_{Na}a_{Ag}$.

de la loi idéale peuvent être très marquées, surtout avec les ions des éléments des groupes de transition. On voit sur la figure 3 les variations de k_e (qui devrait être presque constant si les concentrations moléculaires représentaient les activités) avec la composition de la résine, pour l'échange de Na et Ag sur Dowex 50 (produit commercial). Comme les équilibres de la figure 3 ont été déterminés en solution diluée, et que, de plus, on a tenu compte des coefficients d'activité en phase aqueuse, il faut chercher l'origine de ces déviations de la loi idéale dans la phase résine; le seul phénomène capable d'expliquer cette grosse variation de k_e doit faire intervenir une interaction assez énergique entre les deux cations adsorbés. Cette interaction peut être due, soit à la deshydratation d'un ion par un autre, soit à une répulsion électrostatique mutuelle des ions, qui, dans ce cas, peut modifier le degré de formation de couples ioniques avec le groupe sulfonate de la résine. Si l'un des cations à échanger forme un nombre accru de couples ioniques, son activité décroît dans la phase résine, et par suite, il est adsorbé plus fortement.

GONFLEMENT DES RÉSINES ET ABSORPTION D'ÉLECTROLYTES

Ce genre d'expériences concerne les facteurs suivants:

1. La perte d'eau par les résines avec divers cations sous tension de vapeur d'eau réduite [2]. (Voir figure 4.)
2. La perte d'eau et

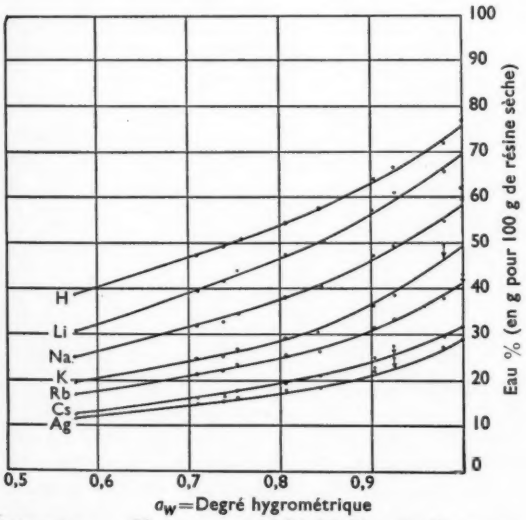


FIGURE 4 – *Teneur en eau d'imbibition de Dowex 50 avec divers cations, sous diverses tensions de vapeur d'eau* [7]. $a_W = p_{H_2O}/p_{H_2O\ saturante}$.

3. L'absorption d'un excès d'électrolyte par les résines en contact avec des solutions aqueuses concentrées contenant des sels du cation qui s'échange [2].
4. La conductance et les transferts électrolytiques dans la résine [2].

On voit des résultats sur la figure 5. Ils montrent clairement le changement considérable de volume subi par la résine plongée dans des solutions à diverses concentrations. Apparemment, un calcul physico-chimique des équilibres dans la résine doit tenir compte du travail mis en jeu dans l'allongement ou la contraction des chaînes reliées latéralement les unes aux autres. Ces résultats expérimentaux imposent de concevoir la phase résine comme une solution aqueuse concentrée d'électrolytes, maintenue en contrainte par la structure de la résine quelque peu élastique, qui empêche son gonflement de dépasser certaines limites. L'application de la thermodynamique [2] à un tel modèle permet une évaluation grossière de la quantité d'électrolyte absorbée, dans des expériences analogues à celle de la figure 5. Ce faisant, on trouve que l'absorption réelle dépasse considérablement l'absorption calculée. Cela ne peut signifier qu'une chose: l'activité de l'électrolyte dans la résine est beaucoup plus faible qu'elle ne serait si les coefficients moléculaires moyens d'activité du résinate avaient des valeurs comparables à celles d'autres sels de Na, par exemple, chlorures ou nitrates. La même conclusion s'est imposée à W. Juda, après détermination des nombres de transport à l'intérieur de la phase résine [2]. Cela veut dire qu'un résinate de Na, considéré comme solution aqueuse d'ions Na et d'ions sulfonates, ne se dissocie pas complètement en deux ions que l'on peut traiter comme des particules indépendantes en solution. Il peut y en avoir plusieurs raisons:

1. La dissociation en anion et cation peut être incomplète, peut-être par suite du voisinage d'une matière organique, qui réduirait la constante diélectrique.
2. Les groupements anioniques, attachés à la structure de la résine, ne peuvent pas agir comme des particules complètement indépendantes.
3. Les atmosphères ioniques, sous la forme envisagée par Debye-Hückel dans leur théorie des solutions d'électrolytes [6], sont différentes de ce qu'elles sont en solution aqueuse. Ceci peut être dû à des restrictions spatiales, imposées par la matrice organique qu'est la

résine, ou aux restrictions de mobilité des anions (dans un échangeur de cations), qui empêchent la formation d'une atmosphère ionique négative autour d'un cation.

Toutes ces possibilités agissent dans le sens d'une réduction du coefficient d'activité moyenne et du coefficient osmotique du résinate métallique. Comme elles peuvent toutes intervenir simultanément (mais à un degré variable suivant l'ion), il sera difficile de passer aux considérations quantitatives.

Il y a cependant, un certain nombre de propriétés qui montrent qu'en traitant les échangeurs d'ions comme des solutions aqueuses concentrées d'électrolytes, on s'approche de près de la réalité des choses [2].

Soit, par exemple, les polystyrènes sulfonés, avec jonction entre chaînes. L'Amberlite I.R. 120, le Dowex 50 et le Zeo-Karb 225 en sont des types commerciaux bien connus. On peut modifier le degré de jonction entre les chaînes du monomère polystyrène en changeant les proportions de divinylbenzène (voir figure 1). Moins il y a de jonctions entre les chaînes, moins grandes sont les forces qui s'opposent à la tendance de la résine (analogue en cela à tous les électrolytes) à former une véritable solution aqueuse au contact de l'eau. Ceci veut dire qu'une résine à peu de jonctions internes, au contact d'une solution aqueuse diluée, gonflera bien plus qu'une résine à jonctions multipliées. En plus, la résine à nombre réduit de jonctions internes, considérée comme solution aqueuse d'électrolyte, malgré sa capacité par gramme de résine sèche presque identique, possède une concentration moléculaire en résinate plus réduite (on entend par là le nombre d'équivalents de groupements échangeurs par litre d'eau d'imbibition). Ceci nous conduit tout droit à la spécificité des résines pour différents ions.

SPÉCIFICITÉ DES RÉSINES SUIVANT LE DEGRÉ DE JONCTION INTERNE

Avec deux électrolytes présents, deux cations univalents, et la solution aqueuse diluée, cas relativement simple, une théorie quelque peu idéalisée conduirait à la valeur suivante pour la constante d'équilibre k_e'

$$\log k_e' = \log \left(\frac{\overline{m}_2}{m_2} \cdot \frac{m_1}{\overline{m}_1}\right) = \frac{P}{RT}(V_1 - V_2) + \log \frac{\gamma_{R_1}}{\gamma_{R_2}} \quad \ldots (5)$$

γ_{R_1} et γ_{R_2} sont les coefficients moléculaires moyens d'activité des deux résinates purs; P est une fonction du volume de la résine équivalant à la

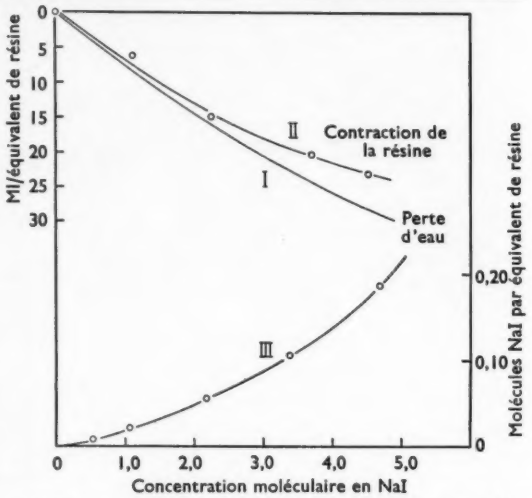


FIGURE 5 – *Perte en eau* (I), *changement de volume* (II), *absorption de NaI* (III) *per Na-Dowex* 50 *au contact de solutions aqueuses d'iodure de sodium de diverses concentrations* [7].

«pression de gonflement» de la résine; V_1 et V_2 représentent les volumes ioniques des cations non hydratés, et les m et $\overline{m}$ représentent les concentrations moléculaires dans les phases aqueuses et résines respectivement. Pour ce dernier cas, on les calcule comme si le résinate était dissous dans l'eau d'imbibition. Or, les coefficients d'activité des électrolytes non hydratés sont en général d'autant plus petits que sont plus gros les volumes ioniques des cations non hydratés: par exemple $V_{Cs} > V_{Na}$ et $\gamma_{CsCl} < \gamma_{NaCl}$. Les deux termes du second membre de l'équation (5) sont donc de signes différents. Des expériences montrent que k_e' est une fonction croissante de $V_2 - V_1$. Il apparaît donc que le terme $\log (\gamma_{R_1}/\gamma_{R_2})$ est prédominant, et le terme «pression de gonflement» n'est pas très significatif du point de vue du facteur de séparation. En traitant de même le cas d'ions de valences différentes (v_1 et v_2), on obtient comme facteur d'équilibre:

$$k_e' = \left(\frac{\overline{m}_2}{m_2}\right)^{v_1} \cdot \left(\frac{m_1}{\overline{m}_1}\right)^{v_2} \quad \ldots\ldots\ldots (6)$$

k_e' est alors une fonction compliquée de la pression de gonflement, des volumes ioniques, et des coefficients d'activité. Comme le montre l'allure de la série, de Ba à Be, ce sont ces derniers facteurs qui l'emportent. Toutefois, les concentrations moléculaires dans la phase résine ne sont pas un moyen commode de donner la composition des phases, car il faudrait connaître la teneur en eau de la résine. On peut commodément remplacer

leur rapport par celui des fractions équivalentes, $x_1 = v_1n_1/(v_1n_1 + v_2n_2)$ et $x_2 = v_2n_2/(v_1n_1 + v_2n_2)$, car $v_1n_1 + v_2n_2$ est la capacité de la résine, donc une constante. Mais on ne peut le remplacer par les concentrations moléculaires: $X_1 = n_1/(n_1 + n_2)$ et $X_2 = n_2/(n_1 + n_2)$, parce que le nombre total de molécules par gramme de résine $(n_1 + n_2)$, dans un mélange hétérovalent, est lui-même fonction du rapport des concentrations des deux ions dans la résine. Ceci explique les expériences de Duncan et Lister: pour l'échange NH_4—La, on obtient une valeur de k_e' bien plus constante avec les concentrations équivalentes qu'avec les concentrations moléculaires.

Revenons à l'équation 5. Le coefficient d'équilibre k_e' est surtout fonction du rapport des coefficients d'activité des deux résinates. On sait bien que les coefficients d'activité des électrolytes aqueux sont très voisins en solution diluée, où ils suivent la loi limite de Debye-Hückel, mais qu'ils divergent en solution plus concentrée. Par conséquent, on conçoit que, par diminution des jonctions internes, ce qui accroît le gonflement, et transforme le résinate en une «solution» plus diluée, le rapport des coefficients d'activité décroisse avec, en même temps, la valeur de k_e'; en d'autres termes, que la résine devienne moins efficace pour la séparation des ions. Des expériences [2] montrent qu'il en est bien ainsi.

On pourrait en conclure qu'il faut multiplier le plus possible les jonctions entre chaînes, pour obtenir des résines de haute spécificité. En pratique, il y a des limites à ceci, car les résines correspondantes ont un comportement très anormal. Par exemple, la résine traitée avec 20% ou plus de divinylbenzène, tout en montrant une grande préférence, par exemple, pour Na^+, dans le cas d'un mélange Na-H surtout riche en H^+, préfère, au contraire, H^+ dans le cas d'un mélange surtout riche en Na^+. Il y a une composition intermédiaire de la résine pour laquelle il n'y a que peu ou pas d'enrichissement de l'un des ions. En voici une raison (pas nécessairement unique): les résines à jonctions internes multipliées contiennent très peu d'eau: les cations dans la résine n'y trouvent pas assez d'eau pour atteindre leur degré d'hydratation normale. Ils vont donc se partager les molécules d'eau disponibles de façon à atteindre le niveau d'énergie le plus bas possible. Ceci signifie qu'il va y avoir interaction entre ions différents du même signe; possibilité qu'il n'y a pas lieu d'envisager, selon Brønsted, en solution plus diluée [6]. Cette interaction diminuera l'activité moyenne dans la résine des cations les plus rares, plus que celle des cations les plus nombreux et par suite, ce sont les premiers qui auront le plus tendance à être adsorbés.

D'autres considérations militent contre la multiplication au-delà d'une certaine limite des jonctions entre chaînes. Comme les résines gonflent moins, leur porosité, condition d'un échange libre et rapide avec les ions en solution, diminue, et la vitesse d'échange, déterminée — sauf en solution extrêmement diluée — par la diffusion des ions dans la phase résine, décroît très rapidement. En fait, dans le cas des résines à jonctions internes très nombreuses, il n'y a plus d'accès vers l'intérieur pour les gros ions organiques [2].

Il y a une propriété physico-chimique qui n'a pas encore été expressément mentionnée, c'est la différence de degré de gonflement d'une résine donnée suivant le cation à échanger. Quand on passe, par exemple, de Li à Na, puis Rb puis Cs, on observe une contraction de la résine, due à la perte d'eau (voir figure 4). On peut en donner des explications diverses. On peut dire que chacun de ces ions est plus hydraté que le suivant, ou encore, en traitant la résine comme une solution aqueuse d'électrolyte, que le coefficient osmotique du résinate décroît dans l'ordre donné, ce qui diminue le gonflement. En fait, comme c'est le degré d'hydratation des cations qui détermine effectivement leur coefficient osmotique en solution aqueuse concentrée, les deux explications reviennent au même. Pourtant, la seconde ouvre la voie pour un traitement quantitatif, et vu les variations parallèles des coefficients osmotiques et d'activité, elle conduit à cette conclusion que des cations de même valence sont d'autant plus adsorbés qu'ils gonflent moins la résine, et réciproquement. Cette conclusion s'accorde avec l'ensemble des résultats expérimentaux, sauf pour l'hydrogène.

BIBLIOGRAPHIE

[1] DUNCAN, J. F., et LISTER, B. A. J. *Quart. Rev. chem. Soc.*, **2**, 4, 307–48, 1948.

[2] GLUECKAUF, E. *Nature*, **166**, 775, 1950.

[3] Suite de 15 publications sur les Echangeurs d'Ions. *J. Amer. Chem. Soc.*, **69**, 2769–881, 1947.

[4] Suite de publications dans les *Discussions of the Faraday Society*, No. 7, 1949.

[5] KRESSMAN, T. R. E., et KITCHENER, J. A. *J. Chem Soc.*, 1203, 1190 et 1208, 1949.

[6] HARNED, H. S., et OWEN, B. B., «The Physical Chemistry of Electrolytic Solutions». Reinhold Publishing Corporation, New-York. 1950.

[7] DINHAM, M. J., DUNCAN, J. F., et GARDNER, A.W. (A.E.R.E., Harwell). Résultats non publiés.

John Warltire, «un bon chimiste»

DOUGLAS McKIE

On trouve ici des fragments d'une biographie d'un professeur de sciences itinérant, qui aida Priestley à découvrir l'oxygène, ainsi qu'une liste de ses œuvres qui nous sont parvenues, destinées pour la plupart à ses auditoires.

Pour l'historien de la chimie John Warltire est un conférencier itinérant et un ami de Joseph Priestley. Au moment où celui-ci en 1774 projette la série d'expériences (en faisant usage de son nouveau miroir ardent) qui doit aboutir à la découverte de «l'air déphlogistiqué», ou oxygène, il écrit: «Monsieur Warltire, un bon chimiste et physicien, se trouvant alors à Calne pour ses conférences, je lui fis part de mes idées et pris de lui plusieurs substances que je n'aurais pu me procurer autrement» (*Experiments and Observations*, Londres, 1775, II, 34). Au cours de ces expériences, désormais célèbres, Priestley doutant de l'authenticité d'un «mercure calciné» (oxyde de mercure) acheté chez un apothicaire, obtint de Warltire un échantillon dont il pouvait garantir l'authenticité (*ibid.* p. 36).

Le 3 janvier 1777 Warltire parle dans une lettre à Priestley de certaines observations qu'il a faites. Il signale notamment qu'en faisant brûler un jet d'air inflammable (hydrogène) dans un récipient rempli d'air ordinaire, «celui-ci perd un bon cinquième de son volume initial; et dès que la flamme est éteinte une fine poudre comme un nuage blanchâtre envahit le récipient» (*ibid.*, 1777, III, 367).

Cette remarquable constatation faite par Warltire à la fin de 1776 ou au début de 1777 ne semble pas avoir frappé auparavant les participants à la controverse au sujet de l'eau, mais elle conduisit Warltire à d'autres expériences plus connues dont il fit part à Priestley, puis à Cavendish, au dire de ce dernier lui-même. Plus tard Warltire enflamma un mélange d'air ordinaire et d'air inflammable en quantités de poids déterminé dans un globe clos en cuivre, visant à résoudre le problème qui se posait alors de savoir si la chaleur avait du poids. En nettoyant le globe au moyen d'un soufflet pour l'expérience suivante «il remarqua qu'il s'en échappait de la fumée». Priestley, lui-même un expérimentateur intrépide, avait néanmoins conseillé à Warltire d'employer des récipients en verre pour ce genre d'expériences, ce qu'il fit d'ailleurs lui-même en présence de Warltire, se conformant à son propre précepte. Celui-ci suivit le conseil et écrivit ensuite à Priestley: «J'ai remarqué, comme vous, que le verre, tout à fait sec et net avant l'expérience, se couvrait pourtant de rosée après la combustion de l'air» (*Experiments and Observations*, Birmingham, 1781, II, pp. 396–7, lettre du 18 avril 1781). Priestley, à propos de l'observation qui précède, note (1781) que Warltire voyant de l'humidité sur la paroi intérieure du verre déclara que «cela confirmait ce qu'il avait longtemps soupçonné: que l'air ordinaire dépose son humidité quand il est «Phlogistiqué» (*ibid.*, p. *398). C'était aussi l'avis de Priestley.

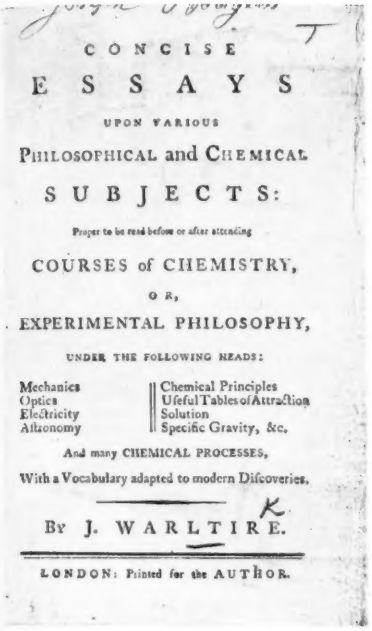
Cavendish constate par la suite que cette rosée est de l'eau tout simplement dont il explique la provenance en supposant, comme avant lui Priestley et Warltire, que les deux gaz, l'air ordinaire et l'air inflammable, déposent au cours de l'expérience l'eau qui entre dans la composition de chacun.

Observateur avisé, expérimentateur habile et conférencier prisé, ami et collaborateur des Priestley, des Cavendish, des Erasmus Darwin, des Wedgwood, Warltire a contribué largement au progrès de la chimie au XVIIIe siècle. Il a fallu pourtant plusieurs années de recherches le plus souvent infructueuses pour mettre en lumière quelques maigres détails biographiques sur lui.

Une tradition de famille veut que Warltire ait eu une ascendance grecque, et soit arrivé en Angleterre fuyant la persécution religieuse. D'après ses œuvres publiées et d'autres sources citées plus loin, il était un conférencier scientifique itinérant.

Le 22 novembre 1762, John Warltire, alors âgé de 23 ans, et célibataire, contractait mariage après avoir juré un affidavit pour obtenir dispense des bans, en l'église de St Pierre de Wolverhampton avec Marie Stringer, mineure, célibataire, de la même paroisse, et fille de William Stringer.

Warltire commença jeune à écrire et à faire des conférences sur des sujets scientifiques. Déjà en 1766 à l'âge de 27 ans il fit publier à Londres une 4e édition de son «*A Short Account of the Solar*



CONCISE

ESSAYS

UPON VARIOUS

PHILOSOPHICAL and CHEMICAL

SUBJECTS:

Proper to be read before or after attending

COURSES of CHEMISTRY,

OR,

EXPERIMENTAL PHILOSOPHY,

UNDER THE FOLLOWING HEADS:

Mechanics
Optics
Electricity
Astronomy

Chemical Principles
Useful Tables of Attraction
Solution
Specific Gravity, &c.

And many CHEMICAL PROCESSES,

With a Vocabulary adapted to modern Discoveries.

By J. WARLTIRE.

LONDON: Printed for the AUTHOR.

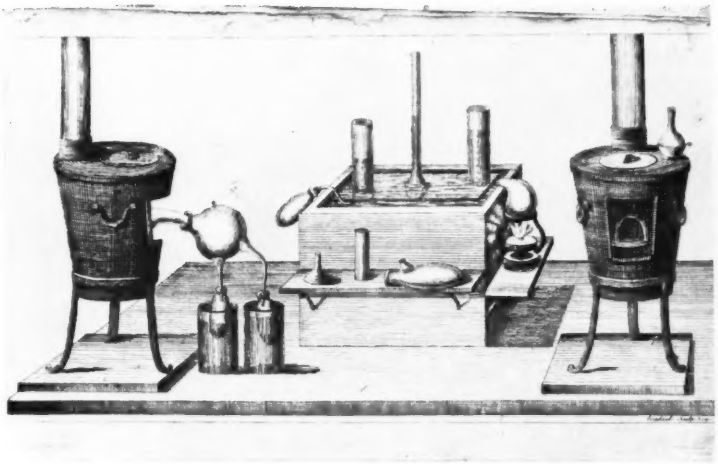
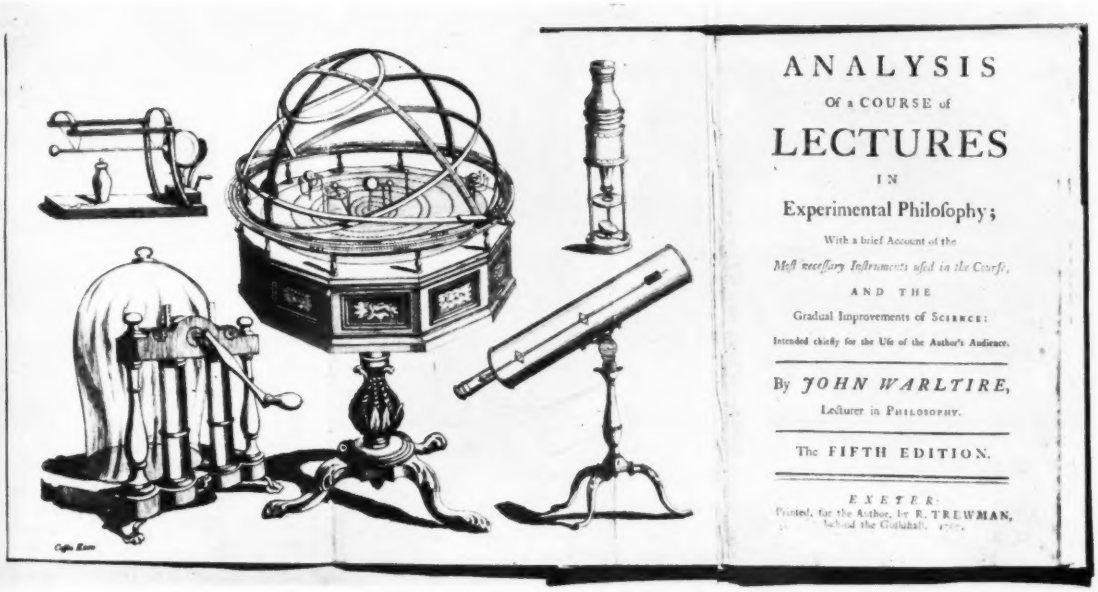


FIGURE 1 – *Page du Titre des* Brèves Dissertations (*Londres*, c. 1775) *avec illustrations d'appareils.*



ANALYSIS

Of a COURSE of

LECTURES

IN

Experimental Philosophy;

With a brief Account of the

Most necessary Instruments used in the Course,

AND THE

Gradual Improvements of SCIENCE:

Intended chiefly for the Use of the Author's Audience.

By *JOHN WARLTIRE,*

Lecturer in PHILOSOPHY.

The FIFTH EDITION.

EXETER:

Printed, for the Author, by R. TREWMAN,

FIGURE 2 – *Page du titre de l'Analyse* (*Exeter*, 1767), *avec illustrations d'appareils.*

System; Air and Atmosphere; Electricity; and of such Instruments as are necessary to make Experiments, particularly to explain and demonstrate those Sciences. Intended chiefly for the Use of such Ladies and Gentlemen who attend the Author's Lectures upon those Subjects» (Bref Exposé du Système Solaire; de l'Air et de l'Atmosphère; de l'Electricité, et des Appareils qu'il faut pour les expériences visant à expliquer et démontrer ces Sciences. Principalement à l'usage des Dames et Messieurs qui assistent aux conférences de l'auteur sur ces sujets). Il n'existe de cet ouvrage qu'un seul exemplaire qui est de la 4e édition. Les mots «4e édition» n'indiquent pas nécessairement un gros tirage. A en juger d'après les autres ouvrages, Warltire faisait imprimer des livres ayant trait à ses conférences, et à chaque fois qu'il arrivait dans un endroit où il devait faire une série de conférences basées sur un livre donné, il en faisait renouveler la page du titre par un imprimeur ou un éditeur de l'endroit, ce qui constituait une nouvelle édition. Les livres de Warltire sont actuellement rares.

Un autre ouvrage de Warltire a pour titre: «*Concise Essays upon Various Philosophical and Chemical Subjects: Proper to be read before or after attending Courses of Chemistry, or, Experimental Philosophy, etc.*» (Brèves dissertations sur certaines questions de Chimie et de Physique. A lire avant d'assister aux cours de Chimie ou de Physique, ou après. Londres, pas daté). Selon le catalogue du British Museum la date de publication serait 1770. Or le texte parle d'«air déphlogistiqué», gaz ainsi nommé en 1775 par Priestley qui l'isola pour la première fois en 1774: le livre ne peut donc être antérieur à 1775. Plus tard en 1781 parut à Nottingham une édition des «Brèves Dissertations». Son œuvre comprend aussi: «*Analysis of a Course of Lectures in Experimental Philosophy; with a brief Account of the most necessary Instruments used in the Course, and the Gradual Improvements of Science: Intended chiefly for the Use of the Author's Audience*» (Sommaire d'une série de conférences sur la Physique Expérimentale; suivie d'un aperçu des appareils indispensables utilisés au cours de ces conférences, et des Progrès de la Science: à l'intention de l'auditoire de l'auteur, etc.) (Exeter, 5e édition, 1767; Londres, 6e édition, 1769); «*Tables of the Various Combination and Specific Attraction of the Substances employed in Chemistry. Being a Compendium of that Science: Intended chiefly for the Use of those Gentlemen and Ladies who attend the Authors' Lectures, etc.*» (Table des diverses combinaisons et attractions électives (affinités) des substances chimiques; étant un compendium de cette science à l'usage des Dames et Messieurs qui assistent aux cours de l'auteur, etc.) (Londres, 1769); «*A Course of thirteen Lectures upon General Chemistry; including the Theory and Experiments agreeable to the latest Discoveries*» (Série de 13 conférences sur la Chimie en général; y compris la théorie des découvertes récentes et des expériences y ayant trait). (Il s'agit d'un programme du cours sans mention du lieu ou de la date de publication); «*Synopsis of Natural and Artificial Chemistry*» (Mémento de Chimie Naturelle et de Chimie Artificielle) (ni lieu ni date de publication). H. C. Bolton dans sa «*Bibliography of Chemistry*» (Bibliographie de Chimie) en fait mention. Seul ouvrage de la liste donnée ici que l'auteur de cet article n'ait pas vu). Tous ces livres ont apparemment été imprimés dans les endroits où Warltire faisait ses cours, pour être vendus aux assistants. Certains portent la mention: Imprimé pour l'Auteur. Le Cours de treize Conférences indique que: «Chaque abonné paie une guinée pour le cours avec faculté de donner sa place à un autre. Les non-abonnés paient 2s. 6d. pour chaque conférence». Nous avons vu que Priestley connaissait bien Warltire en 1774. En 1774 ou 1776 Erasmus Darwin lui demanda de collaborer à ses expériences sur le refroidissement de la cloche d'une machine pneumatique quand on y fait le vide; le compte rendu en parut bien plus tard dans les *Phil. Trans.* (**78**, 43, 1788), où Darwin parle de Warltire, «le célèbre Professeur de Sciences itinérant».

Les contemporains de Warltire reconnurent son mérite. Le 2 octobre 1782 il est élu membre honoraire de la Société Littéraire et Philosophique de Manchester; son nom paraît dans la liste qui figure au premier volume des Mémoires de la Société (1789). Etaient nommés membres honoraires ceux qui s'étaient distingués dans les domaines qui intéressaient la Société, mais qui, demeurant loin de Manchester, ne pouvaient assister aux séances. En comptant Warltire, il y avait environ 45 membres honoraires dont John Aikin, John Coakley Lettsom, Magellan, Priestley, Benjamin Rush, Samuel Foart Simmons, Volta, Wedgwood, Martin Wall, Vic d'Azyr, Erasmus Darwin, Benjamin Franklin, Richard Watson et Lavoisier. Le nom de Warltire paraît sur les listes de membres honoraires jusqu'en 1790.

Le Bureau d'Essai de Birmingham et le Musée Wedgwood à Barlaston possèdent des lettres qui ont fourni quelques détails biographiques sur Warltire. Nous en citons quelques extraits avec l'aimable autorisation de l'Essayeur de Birmingham et de MM. Josiah Wedgwood et Fils.

Le 28 septembre 1776 Priestley écrit de Calne à Matthew Boulton: «Sachant l'intérêt que vous prenez à tout ce qui touche au progrès des sciences, je me permets de vous recommander M. Warltire, qui est présentement dans nos parages et qui doit faire des conférences sur l'air à Birmingham: c'est à mon avis un savant de valeur et aussi un homme modeste et affable. Il connaît à fond son sujet et a préparé une série d'expériences qui ont été très appréciées partout où il a passé. Il m'a aimablement tenu compagnie pendant quelque temps et mes expériences ont beaucoup profité de sa collaboration» (MS. du Bureau d'Essai de Birmingham).

Voici maintenant un passage du brouillon d'une lettre adressée à Warltire de la main même de Wedgwood: «J'ai grandement déploré le malencontreux hasard de mon absence au moment ou vous me faisiez l'honneur de me visiter. J'espère être plus heureux une prochaine fois. J'ai reçu votre lettre du 27 du mois dernier, et n'ai pas voulu y répondre auparavant, n'osant pas vous encourager à venir ici sans la certitude d'un auditoire suffisant. Je suis actuellement convaincu que vous aurez le nombre d'abonnés que vous avez fixé et probablement bien davantage; d'aucuns pensent pourtant que l'affluence sera plus grande en plein été, de quoi faire deux cours au lieu d'un; tandis qu'actuellement certains sont en ville, d'autres à la chasse. Voilà la situation telle que je la vois; à vous maintenant de décider, soit de nous accorder le plaisir de votre visite vers le 20 courant, soit de la remettre jusqu'en été. Dans l'un et l'autre cas vous êtes assuré d'un auditoire nombreux; mais, selon moi, l'affluence serait plus grande en été. Je serais heureux de connaître votre décision le plus tôt possible». (Musée Wedgwood, MS. E. 18875-26.)

Sans doute Warltire choisit-il la date la plus rapprochée, car Wedgwood écrit à Thomas Bentley le 17 février 1779: «M. Warltire sera ici samedi prochain pour nous faire un cours, et comme mes voisins semblent résolus à aller l'entendre seulement trois jours par semaine, ce n'est pas de si tôt que j'aurai le plaisir de vous voir à Turnham Green». (Musée Wedgwood, MS. E. 18877-26.) Le 25 du même mois Wedgwood écrit encore à Bentley: «M. Warltire ouvre aujourd'hui ses conférences avec 30 guinées d'abonnements, et je crois qu'il fera encore mieux. Le Docteur Darwin a envoyé son fils Robert assister au cours. Mon fils Jack et le jeune futur docteur sont tous deux vivement intéressés. Ils prennent chaque matin une leçon particulière de M. Warltire, et cela leur profite bien plus que le cours public». (Musée Wedgwood, MS. E. 18878-26.)

Nous voyons dans une lettre de Wedgwood à Bentley, en date du 8 mars 1779, que Warltire a fait usage d'un des microscopes solaires de Martin au cours de ses conférences; et que s'en étant servi pour montrer des camées, on lui avait proposé d'employer ce moyen pour montrer la dissolution et la précipitation des métaux, la cristallisation, les animalcules et la circulation du sang». (Musée Wedgwood, MS. E. 18882-26.)

En septembre 1781, Warltire fit un cours à Chesterfield. A ce propos Matthew Boulton écrit à Watt: «Avons fait halte à Chesterfield et y avons trouvé M. Warltire qui y enseignait la chimie aux gens de l'endroit». (Bibl. d'ouvrages de référence de Birmingham, MSS. Boulton.)

Le 19 juin 1784 C. Gullett écrivant de Beerferris à Matthew Boulton fait allusion à quelques essais effectués par «votre bon ami M. Warltire» et cite un passage d'une lettre de celui-ci datée de Topsham le 24 mai 1784 au Révérend W. Radcliffe à Plymouth où figurent des analyses de minerai de plomb contenant une forte proportion d'argent. (MS. du Bureau d'Essai de Birmingham.)

Le dernier détail de la carrière de Warltire que nous ayons pu retracer se rapporte à un «Cours de dix conférences sur les aspects les plus intéressants des sciences» fait à Rotherham en 1803, alors qu'il «professait sur ces sujets depuis plus de 50 ans», et auquel assistaient les étudiants de l'Ecole de Rotherham.

Un avis concernant les conférences de Warltire a été retrouvé. Il parut dans l'*Exeter Flying Post* du 10 avril 1767, ainsi conçu: «Cours de Physique Expérimentale, chez M. Castiglione, Gandy's Lane, Exon. (Exeter). Commencera le lundi 13 avril à quatre heures de relevée. Par John Warltire».

Warltire mourut à Tamworth et fut porté en terre le 23 août 1810. Il était, dit-on, grand et brun; avait de longs cheveux noirs et un visage pâle. On dit aussi qu'il avait vécu parmi les Arabes dans sa jeunesse.

L'auteur remercie les nombreux correspondants et bibliothécaires qui l'ont aidé à rassembler les détails ci-dessus, et surtout Mme. G. Warltire; le Conseiller Norman E. Tildesley; M. Arthur Westwood, Essayeur de Birmingham; M. A. E. Dodd, et tout spécialement M. H. M. Cashmore, Bibliothécaire en Chef de Birmingham.

Naissance et évolution d'un volcan

FREDERICK H. POUGH

L'auteur décrit les différentes phases de l'éruption du volcan mexicain Parícutin (1943), la composition des bombes rejetées et les coulées de lave. Aux alentours du volcan s'élèvent des monticules de près de 100 m qui ressemblent à des cônes secondaires: ce sont d'énormes fragments du cône emportés par la lave. La formation de petites cheminées (*hornitos*) par où s'échappent les gaz est à remarquer.

Les soucis internationaux de février 1943 empêchèrent la presse et les géologues de s'intéresser de façon normale à l'apparition d'un nouveau volcan au milieu d'un champ de blé mexicain. Huit ans ont passé depuis, et les éruptions ininterrompues du premier petit cratère ont amoncelé un cône de cendre de taille appréciable, tandis qu'une étendue de plusieurs kilomètres carrés occupés jadis par des champs et des forêts se trouve maintenant ensevelie sous plusieurs mètres de lave. Le nouveau volcan fut nommé Parícutin d'après le village indien le plus proche, situé près du centre de l'état de Michoacan, à 300 km environ au sud-ouest de la ville de Mexico et à la même distance à peu près de l'Océan Pacifique.

L'emplacement est à quelques kilomètres seulement du rebord occidental du haut plateau mexicain et l'altitude de la base du volcan est de 2500 m. Le cône se dresse maintenant à 460 m au-dessus de ce socle mais sa hauteur semble quelque peu moindre à cause de la couche de lave épaisse de près d'une centaine de mètres qui recouvre maintenant la structure première. Tout d'abord le cône grandit rapidement, mais sa taille augmentant et son activité explosive diminuant progressivement, sa croissance fut retardée et il est probable que son altitude finale n'excèdera pas grandement celle qu'il a actuellement.

La zone dans laquelle il se trouve est constituée d'une bande de matières volcaniques reposant sur une couche de sédiments et de roches granitiques. Les grands volcans mexicains, dont le plus élevé, l'Orizaba, épaule le rebord occidental, jalonnent cette zone. Le Popocatepetl et l'Ixtaccihuatl se disputent l'intérêt des touristes près de Mexico, et le Colima se dresse en bordure du Pacifique. Des hauteurs volcaniques moins élevées jonchent les campagnes dans l'intervalle; les plus petites mais les plus nombreuses sont les milliers de cônes de cendre que l'on rencontre à chaque détour du chemin. Le Parícutin n'est en somme qu'un cône de plus. De nombreux sommets sont profondément usés (l'Ixtaccihuatl n'a plus de cratère) tant au point de vue sismologique que vulcanologique, mais la zone des volcans mexicains est encore très vivante. Dans ses limites géologiques elle offre un choix remarquable de structures volcaniques.

Lorsque parut le Parícutin, il était naturellement impossible de prévoir avec certitude la durée de son activité. Il crût d'abord très rapidement atteignant en quelques semaines une hauteur de plus de 100 m. En mai 1943 il avait 300 m environ de largeur au sommet et 1 km à la base. Les violentes explosions qui se produisaient souvent dans le cratère offraient un spectacle magnifique. Mais au bout de quelques semaines la composition des produits rejetés, bombes (masses de roche fondue) et morceaux de lave sans matières plus fines, changea, et les éruptions des années suivantes, non sans quelques retours périodiques et irréguliers aux éruptions premières, furent caractérisées par d'énormes quantités de matières solides passant d'une fine poudre grise à des lapilli grossiers. Toute la campagne environnante fut recouverte de cette poudre et à 1 km du cône la couche atteignait encore une épaisseur de 6 m. Les vents violents de la saison sèche qui soufflent du nord-est empêchèrent la couche de se distribuer uniformément autour du cône et elle est en effet plus épaisse et s'étend plus loin au sud et à l'ouest du cratère. Des sautes de vents pendant la saison des pluies, où des fluctuations normales et peu importantes se produisent, permirent à la cendre de se déposer en grande quantité tout autour du cratère pour finir par une couche de quelques centimètres à 16 km ou davantage de la source.

Les forêts avoisinant directement le volcan consistaient surtout en pins et en chênes. Elles furent gravement affectées par les cendres et les pins jaunirent rapidement. Ceux qui se trouvaient à proximité du cône périrent en moins d'un an. Les chênes se montrèrent plus résistants et continuèrent à fournir des pousses nouvelles; mais les conditions ambiantes les empêchèrent de

survivre et elles succombèrent à leur tour. Plusieurs facteurs en étaient responsables, dont le plus important fut certainement l'action d'encrassement et d'abrasion de la couche de cendre sur les feuilles. Un autre facteur, secondaire celui-là et moins décisif, fut la perte de vitalité résultant de l'enfouissement plus profond des racines. On remarqua que des branches de pins situées à proximité du cône n'avaient plus d'écorce et leur surface supérieure était usée comme si on l'avait passée au papier de verre.

A l'abrasion superficielle causée par la chute des cendres, la poussière charriée par le vent ajouta ses dégâts. Pendant la saison sèche, de novembre à juin, le soleil darde chaque jour ses rayons sur les champs nus recouverts d'une épaisse couche de poussière de roc, très fine, légère et déliée. L'échauffement local produit de forts courants de convection qui soulèvent la poussière sur leur chemin et l'éparpillent sur toute la campagne alentour. A ces moments-là la vie près du volcan devient très pénible. Les nuages de poussière obscurcissent tout à plus de 5–6 m de l'observateur et les instruments délicats et les appareils photographiques doivent être soigneusement protégés.

En plus de la cendre, et constituant l'élément principal du cône se trouvent les produits plus grossiers rejetés par la bouche du cratère. Les «bombes» qui forment ainsi la structure du cône sont nombreuses par endroits et peuvent mesurer jusqu'à 2 m de diamètre, mais c'est assez rare. La plupart d'entre elles semblent avoir été projetées à l'état solide; certaines semblent même avoir été projetées plusieurs fois hors du cratère et d'y être retombées avant d'acquérir une trajectoire assez accusée pour leur permettre de rouler sur les pentes du cône ou au-delà de sa base. C'est pourquoi elles paraissent avoir été si souvent façonnées par action mécanique; il se peut même que dans leur brassage au fond de l'entonnoir du cratère, elles aient moulu une bonne partie de la fine poussière qui flotte si haut au-dessus du volcan. La viscosité de la lave et sa basse température ont empêché le développement des bombes ovales typiques, produit classique des éruptions volcaniques. C'est pourquoi, bien qu'elles aient tourbillonné dans l'air avant de retomber comme des balles de feu sur les flancs du cône, leur extérieur n'a pas été fortement marqué par la rotation. Beaucoup d'entre elles se brisent si on les frappe; elles semblent être à l'état instable et se fracturent aisément. Très peu ont une croûte quelconque.

Parfois le soir, après une poussée étincelante de lave brûlante et fluide, on trouve des bombes dont la forme rappelle celle des bombes classiques. Certains de ces spécimens rares, encore très liquides à l'intérieur, se craquèlent dans leur chute et il apparaît le long de la fissure une sorte de crête faite d'aiguilles cristallines. De telles bombes étaient rares et ne se produisirent qu'à des moments d'activité intense, alors que de grands jets rouges de roc liquide s'élevaient et s'étalaient avant de retomber en nappes illuminant en rouge la silhouette du cône. D'autres bombes de type différent étaient allongées et striées comme si les matières avaient dû passer par un orifice irrégulier à la façon d'une pâte dentifrice qui prend la forme de l'orifice du tube. Tout comme sa lave, les bombes du Parícutin conservèrent leur forme en refroidissant, à cause de leur grande viscosité.

Certaines bombes étaient faites d'un bloc de roc granitique logé dans une coque de basalt, révélant ainsi la nature de la couche sousjacente au travers de laquelle la lave s'était fait passage. Les premières de ce type étaient presque blanches, d'aspect récent et de structure externe relativement intacte. A l'examen d'une coupe fine on remarquait des parcelles de verre granuleux et un début de refusion. Par la suite les fragments de granit devinrent de moins en moins reconnaissables pour laisser finalement la place à une écume ponceuse blanchâtre où on les distinguait encore comme des gouttes acides dans un magma basaltique. Un des derniers fragments de la cheminée interne avait été si complètement refondu que ce n'était plus qu'une obsidiane grise et striée qui tomba sur le cône, recouverte d'une coque de basalte plastique. Avant de refroidir, le basalte se contracta comme une écorce, sectionnant un coin de verre gris fragile qui adhérait en aiguilles séparées comme en une rangée de dents le long de la mâchoire de basalte. Le Parícutin ne produit plus de bombes granitiques; ces bombes du début ne formèrent d'ailleurs qu'une fraction très faible de la totalité des matières rejetées.

De grandes quantités de lave se sont déversées sans interruption en longues coulées par de nombreuses cheminées secondaires sur les flancs du cône. Un seul orifice était situé à mi-hauteur; les autres étaient tous situés plus bas, près du pied ou au-delà. L'on pense qu'ils correspondent à deux lignes parallèles de faille inclinées du nord-ouest au sud-est, car les diverses bouches étaient toutes situées sur ces deux lignes. Il est curieux de noter que les premières coulées sortant de la cheminée principale ou de très près arrachèrent et transportèrent à leur surface des parties du cône

même. Ces morceaux détachés furent charriés jusqu'à 1 km de leur point d'origine et forment maintenant des monticules d'une centaine de mètres de hauteur que les géologues de l'avenir seraient incapables d'expliquer autrement que comme des cônes secondaires à foyer effondré, si leur formation n'avait pas été observée de nos jours. On peut ainsi expliquer l'origine, restée obscure jusqu'ici, des monticules parasitiques des environs du Jorullo. Malgré ces destructions répétées de ses flancs, le cône s'est jusqu'à présent toujours refait. Après plusieurs années, il est encore parfaitement symétrique, plus élevé pour l'instant du côté nord-ouest mais il continue toujours à monter et garde sa ligne classique.

Les nouveaux orifices de coulée se sont ouverts plus loin du cône et n'en ont donc pas tant affecté la symétrie. Leur vie comme sources de lave semble longue. Un groupe d'orifices situé à l'ouest a conservé son activité pendant quatre ans; les bouches actuelles du côté sud-est parurent en 1948 et produisent encore assez de lave pour alimenter les coulées qui se dirigent maintenant vers le nord.

La lave elle-même et son comportement n'ont pas changé grandement depuis le début. Les premières coulées prenaient instantanément l'aspect d'un grand mur fait de blocs enchevêtrés, fluide au centre mais très visqueux et suffisamment refroidi à la périphérie pour être cassant. Au bout d'un an environ, on remarqua que la température moyenne à l'écoulement avait augmenté sensiblement, assez pour que si la surface s'effritait, la lave du dessous, fraîchement exposée à l'air, se répandît en une masse visqueuse. Les orifices des premières coulées étant pour la plupart cachés sous des débris du cône, il était assez difficile de se rendre compte du caractère plus liquide de la lave si ce n'est par intervalles. La première coulée liquide fut de brève durée et se produisit en juin 1943. Après une avance rapide de quelques centaines de mètres, les matières durcirent et formèrent des blocs. En février 1944 la série de nouvelles bouches qui parurent du côté nord-ouest fut caractérisée par des jets bouillonnants de lave épaisse mais liquide, pendant une période de plusieurs semaines. Cette lave coulait comme de la boue houleuse se solidifiant à la surface en grands caillots noirs qui s'enchevêtraient et finalement s'arrêtaient après avoir parcouru quelques dizaines de mètres. La lave encore liquide poursuivait sa route au-dessous, charriant un amas de roches noires brisées et s'étalant peu à peu en une vaste mare de lave dont le front progressait sur une grande largeur. Ce front montrait toutefois des blocs caractéristiques. On ne voyait de la lave rouge vraiment liquide à une certaine distance des orifices que lorsqu'une pointe faisait une avance rapide le long d'une crevasse, comme dans le cas de la coulée qui finit par envahir la ville de San Juan de Parangaricutiro. Cette dernière ne se trouve qu'à 5 km à vol d'oiseau du point d'origine de la lave mais à une distance beaucoup plus grande par la route du fleuve volcanique.

La longue coulée de San Juan, refroidie, se distingue par une lave plus poudreuse que les autres. Sa surface dessine un motif anastomosé comme si les coulées envahissantes s'étaient forcé un passage par des crevasses au lieu de descendre en blocs comme d'ordinaire. La proportion plus importante de gaz indiquée par la texture moins serrée de la lave refroidie explique peut-être cette différence de comportement et le parcours plus long. La quantité de gaz accompagnant la lave a d'ailleurs notablement diminué avec le temps. A la fin de la première poussée, les lisières de la coulée, même les plus éloignées du point de départ, formaient encore des moraines fumantes longtemps après que le mouvement descendant eût pris fin. Chaque orifice de gaz était revêtu de cristaux neigeux de chlorure d'ammonium parsemés de chlorures ferreux d'ammonium jaune moutarde. On pouvait ramasser de magnifiques spécimens de ces minéraux solubles dans l'eau, tout autour des crevasses pendant la saison sèche: en fait, on pouvait en produire à volonté en creusant un orifice semblable et en y insérant des fragments de roc de taille convenable pour quelques jours de sublimation. Les récentes coulées de lave ne sont pas indiquées par des signaux de ce genre et le chlorure d'ammonium ne se trouve plus en spécimens minéraux.

Des gaz plus chauds ne produisant pas de sublimés visibles s'échappent de la surface des coulées actives. La lave du Parícutin ne se comporte pas comme de l'eau ou comme la lave plus liquide d'autres volcans. Le flux initial peut s'étaler très largement et sa surface s'immobilise en refroidissant. Plus tard la coulée se canalise et tandis que la masse devient inerte, un étroit chenal reste vivant. Le rideau de fumée bleue qui flotte au-dessus aide à repérer sa route. Parfois la surface devient entièrement solide, comme cela se produisit en mars 1944, et l'on peut circuler presque à volonté sur une coulée encore active. Le gaz emprisonné dans cette lave donna lieu à deux phénomènes intéressants: le développement

F
le
la
po

F
u
s
q

FIGURE 1 – *Bombes incandescentes laissant des traînées de feu sur le film et dessinant les contours du cône, le soir. Au crépuscule et à la nuit seulement on peut voir la lueur des bombes; le jour elles paraissent noires.*

FIGURE 2 – *L'activité récente a enlevé au cratère beaucoup de sa force explosive. La lave s'échappe par un côté et n'est incandescente qu'à sa source et à sa pointe extrême quand elle se brise.*

FIGURE 3 – *Lave visqueuse devenant cassante et avançant comme un mur croulant de pierres chaudes détachées, sur 6 m de haut; la surface exposée luit en rouge pendant quelques instants chaque fois qu'un nouveau bloc se détache.*

FIGURE 4 – *Des gaz emprisonnés s'échappent de coulées figées depuis plusieurs mois. Autour de chaque fumerolle chaude se forment des sels colorés solubles dans l'eau: chlorures d'ammonium et de fer se cristallisant directement à partir du gaz à des températures allant de 90 à 260°.*

FIGURE 5 – *Du gaz accumulé fait jaillir de la lave d'un groupe d'orifices maintenant éteints près du pied du cône. Cette lave fut la plus fluide que le Paricutin ait jamais produit.*

FIGURE 6 – *Premier stade de l'éruption d'une coulée nouvelle: un lit surélevé de charbons ardents flanqué de rebords instables de roc et de cendre non épaulés. Quand ils s'effondrent la lave liquide dévale rapidement la pente, recouvrant plusieurs centaines de mètres en quelques minutes. La masse bougea au moment où la photo fut prise, donnant ainsi le signal du danger.*

FIGURE 7 – *Pentes boisées, caractérisées par une érosion extrême, des anciennes collines à demi-enfouies. Les arbres morts sont toujours debout, dépouillés de leurs aiguilles et sans aucune valeur pour le sol.*

FIGURE 8 – *«Fenêtre» couverte de cendre dans la coulée de lave laissant à nu le sommet de l'ancienne colline formée par un fragment détaché du cône. Encore visible en 1948, elle a été recouverte par les coulées de 1950.*

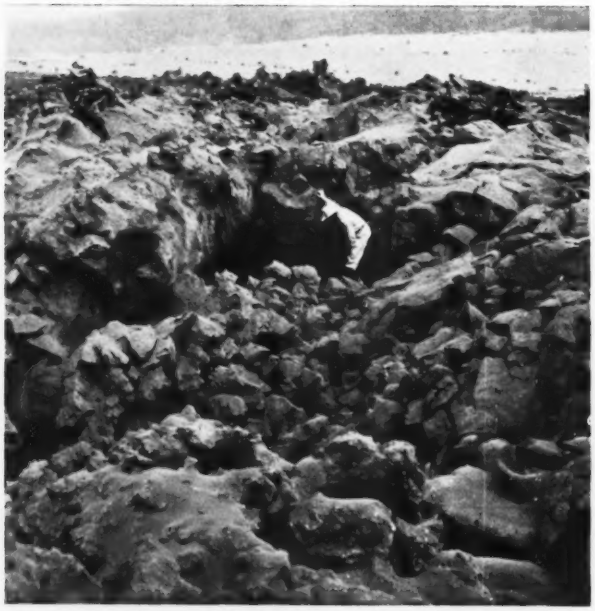


FIGURE 9 – *Caverne dans la remarquable coulée de San Juan montrant un point où s'échappa l'intérieur en fusion, laissant une ouverture arquée quand la surface durcie se tordit en se fendant.*

FIGURE 10 – *Pins enfouis profondément mais toujours vivants. Au second plan la façade de l'église de San Juan qui survécut à la coulée de 1948. Les pins périrent moins d'un an après.*

lave
nent
par

nts.
à la

de petites bouches à gaz, appelées *hornitos*, et l'apparition de pâles flammes bleues s'en échappant le soir.

Les *hornitos* ou «petites cheminées» parurent à la surface de la croûte recouvrant ces coulées toutes les fois que se produisait une fuite, ou une force suffisante pour projeter à l'extérieur de petits fragments de lave comprimée, d'aspect noir, fondue et métallique. Ces pierres brillantes s'amoncelèrent peu à peu autour de l'orifice jusqu'à former une cheminée de verre atteignant plus d'un mètre de haut. L'intérieur de la cheminée était incandescent et les bouffées de gaz avaient tendance à porter vers le haut la surface interne liquide, la soudant en un tube continu. Le soir, on pouvait voir des flammes bleues ondulant au-dessus de ces cheminées, causées sans doute par la combustion de l'hydrogène libéré par l'action réductrice du roc sur la vapeur d'eau surchauffée s'élevant de l'intérieur. Parfois — mais ce ne put être observé sur place qu'une seule fois — une grande quantité de gaz accompagnée d'un flot de lave très liquide donnait naissance à de minces ruisseaux de lave sortant d'un agglomérat de tels orifices. La lave échappait sous la forme d'un groupe de fontaines spectaculaires s'élevant en colonnes de plus de 10 m, tandis que des fragments lancés par l'éclatement de bulles montaient encore trois fois plus haut.

Le voyageur qui va voir aujourd'hui le Parícutin après ses huit années d'activité en transformation constante, verra un spectacle sensiblement différent de celui qu'admirèrent ses premiers observateurs. Pour ceux qui le voient pour la première fois, c'est encore un des spectacles les plus impressionnants qu'ils aient vus. La colonne de poussière flotte maintenant à la dérive comme la fumée d'une cheminée au lieu de jaillir au dehors pour former un dôme menaçant de 8 km d'envergure. Une explosion violente projette parfois de grandes quantités de bombes à plus d'un kilomètre du pied du volcan, mais le plus souvent quelques-unes seulement dévalent les pentes sans danger pour quiconque et rejoignent les autres à la base. La lave coule tranquillement d'ordinaire descendant en cascades imperceptibles d'un orifice qu'elle a surélevé d'une centaine de mètres environ. Seuls quelques grondements intermittents prouvent que le monstre n'est qu'endormi.

Revue des livres

ASTROPHYSIQUE

ALFVÉN, H. *Cosmical Electro-Dynamics* (Electrodynamique cosmique). Pp. 237, avec divers diagrammes linéaires. Oxford University Press, Londres. 1950. 25s.

La publication de ce livre coïncide avec la réalisation de progrès importants en physique cosmique. L'œuvre de M. le professeur Alfvén est donc doublement la bienvenue. Les chapitres de début offrent un exposé excellent du mouvement des particules chargées dans un champ magnétique et des aspects fondamentaux des décharges électriques dans les gaz en tenant compte spécialement des conditions existant dans les espaces interstellaires. En 1942 Alfvén postula l'existence d'un nouveau type d'onde produit par un mouvement hydrodynamique dans un milieu conducteur situé dans un champ magnétique. Le chapitre consacré à ces ondes magnéto-hydrodynamiques est très intéressant et de grande valeur. La physique solaire occupe près d'un tiers du livre et l'auteur s'efforce d'y expliquer de nombreux phénomènes tels que les taches et les protubérances solaires, la haute température de la couronne, toujours à l'aide de sa théorie magnéto-hydrodynamique. La condition essentielle de succès de cette dernière est naturellement que le soleil possède un champ magnétique général. On regrette que, depuis l'époque pourtant récente où fut écrit le livre, l'opinion se soit prononcée si fortement contre l'existence d'un tel champ. Le chapitre contient toutefois une richesse d'information peu commune sur les conditions solaires qui le rend d'une valeur inestimable. Les deux derniers chapitres sont consacrés aux aurores et orages magnétiques et à l'origine des rayons cosmiques. C'est peut-être la partie la moins réussie du livre à cause du peu de développement donné à ces questions. L'aurore est présentée comme la manifestation d'un champ électrique et l'énergie des rayons cosmiques est, paraît-il, produite par l'accélération due à un générateur tel qu'une étoile double dans le même champ. Bien que ces explications soient parfaitement plausibles, le livre aurait gagné à exposer aussi les autres théories couramment admises sur ces mêmes questions. A. C. B. LOVELL

BIOLOGIE

COLD SPRING HARBOR SYMPOSIA. *Amino Acids and Proteins*. Conférences de biologie quantitative. Pp. 217, avec de nombreuses illustrations linéaires et en demi-teintes. The Biological Laboratory, Cold Spring Harbor, U.S.A. 1950. 7 dollars.

Ce nouveau rapport des conférences célèbres de Cold Spring Harbor maintient la haute tradition établie par ses prédécesseurs, qui est de mettre à la disposition de tous les chercheurs intéressés une série de résumés des travaux les plus récents sur n'importe quel point de recherche. Les chapitres ne se suivent pas par ordre logique mais l'ensemble de la question est pourtant bien traité. Les acides aminés sont envisagés sous l'angle de leur analyse par les méthodes chromatographiques et de dilution des isotopes,

ainsi que de leur biosynthèse et de leur métabolisme. Plusieurs articles traitent aussi la question d'actualité du métabolisme et de la synthèse des peptides et de l'application des méthodes de courant inverse pour leur séparation et la vérification de leur homogénéité.

Un peu plus de la moitié du livre est toutefois consacré aux problèmes extraordinairement compliqués des protéines intactes. Cela comprend leurs réactions chimiques, leurs propriétés physiques, les procédés de fractionnement et naturellement l'hydrolyse. D'autres articles traitent la question de la structure des protéines et font mention spéciale de l'insuline, cette grande amie de l'homme qui sera certainement la première protéine à recevoir une formule de structure approchée. L'ouvrage illustre clairement le don américain d'exposition lucide et rend passionnant un sujet qui pourrait si aisément être terne et inintéressant. G. E. DENT

MURRAY, P. D. F. *Biology, an Introduction to Medical and other Studies.* Pp. 600, avec de nombreuses figures et demi-teintes. Macmillan and Company Limited, Londres. 1950. 25s.

Cette longue et intéressante étude s'adresse à tous les étudiants de biologie mais surtout aux futurs médecins à qui l'auteur s'est efforcé de présenter un manuel faisant un tout de leurs études biologiques.

L'ouvrage entier est à la hauteur de cette louable intention. Partant des animaux et des plantes unicellulaires, l'auteur nous fait parcourir en 24 chapitres toute la morphologie animale et végétale et, prenant l'exemple de la grenouille et des fougères nous montre comment se fit l'invasion des continents puis, avec celui des plantes à fleurs et du lapin, leur conquête. Cette partie du livre se termine par plusieurs chapitres sur l'homme et les mammifères, qui en précèdent quatre sur la cellule et les tissus des vertébrés et neuf autres sur l'embryologie et l'évolution.

Dans cette dernière partie, le chapitre sur l'embryologie causale qui relate d'importantes expériences et en tire les conclusions est une utile leçon expérimentale appliquée au problème du développement de l'animal adulte complexe. Les dix derniers chapitres sur le développement et les dix autres sur la croissance, le comportement, la physiologie animale et végétale réflètent la grande largeur de vue de l'auteur. Le livre se termine par six chapitres concis sur les moisissures, les bactéries, les virus, les animaux et plantes parasites et la symbiose. Il faut remarquer la richesse du livre en excellentes illustrations linéaires et demi-teintes, toutes récentes et bien exécutées. Certains chapitres comme celui des tissus vertébrés comptent même ces quelques illustrations supplémentaires qui communiquent au lecteur la véritable intention de l'auteur. Le style est clair et agréable. En conclusion, au lieu d'un aride recueil de faits ou d'un mélange artificiel de deux manuels élémentaires de zoologie et de botanique, nous avons là une fusion intime des sciences en question, sans en exclure d'autres. C'est un livre bien écrit, bien présenté d'où l'on tirera grande satisfaction intellectuelle et artistique. G. LAPAGE

CHIMIE

ADAMS, ROGER — Rédacteur-en-chef. *Organic Reactions, Volume* v. Pp. VIII + 446. John Wiley and Sons, New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1949. 48s.

Ces volumes de «Réactions organiques» sont devenus un ouvrage classique de références offrant une mine d'information sur de nombreuses réactions organiques, tant sur les détails pratiques de leur application que sur les divers composés sur lesquels on les a essayées.

Le volume v traite des questions suivantes: synthèse des acétylènes, cyanéthylation faisant intervenir les réactions par addition de l'acrylonitrile; réaction de Diels-Alder appliquée aux quinones et cétones nonsaturées; réaction de Schiemann pour la préparation des composés aromatiques du fluor à partir des fluoborates de diazonium; réaction du type Friedel-Crafts avec les anhydrides d'acides bibasiques aliphatiques; réaction de Gattermann-Koch; réaction de Leuckhart, alkylation réductive des composés aminés par les aldéhydes et les cétones; oxidation par bioxyde de sélénium; synthèse Hoesch des cétones; condensation de Darzens des éthers glycidiques.

Il nous semble qu'étant donné l'érudition des divers auteurs, leurs articles auraient gagné à dépasser un peu le simple cadre de l'importance des réactions et du cataloguement de leurs applications. Le mécanisme même des réactions aurait pu être étudié plus longuement et on aimerait avoir l'opinion des auteurs sur d'autres applications possibles. L'utilité des réactions citées est incontestée, mais c'est en se rendant compte de leurs limitations que l'on découvrira davantage. Ce volume maintient le haut niveau des articles parus précédemment. W. BAKER

MÉTALLURGIE

SISCO, ANNELIESE GRÜNHALDT, et SMITH, CYRIL STANLEY, traducteurs. *Bergwerk- und Probierbüchlein*, avec des notes techniques et historiques. Pp. 196, illustré. The American Institute of Mining and Metallurgical Engineers. New York. 1949. 5 dollars.

Comme la «Pyrotechnie» de Biringuccio dont l'admirable traduction parut sous les mêmes auspices en 1942, cet ouvrage vient d'être publié avec l'aide du *Seeley W. Mudd Memorial Fund.* C'est la traduction anglaise de deux brochures du Moyen-âge qui furent imprimées pour la première fois au début du seizième siècle. Le *Bergwerkbüchlein* ou «Petit livre des minerais» et le *Probierbüchlein* ou «Petit livre de titrage» furent les premiers ouvrages imprimés traitant l'un des mines, l'autre de la métallurgie. Comme prédécesseurs des œuvres célèbres de Biringuccio et d'Agricola ils ont un intérêt historique considérable surtout parce qu'Agricola leur fit des emprunts importants lorsqu'il écrivit son œuvre classique *De Re Metallica.* Le *Bergwerkbüchlein* devait initier les débutants à la géologie minière et le *Probierbüchlein* était un recueil de recettes et de directions pratiques pour les artisans établis. Les deux ouvrages furent réédités maintes fois et leur bibliographie compliquée est étudiée assez longuement à l'aide de nombreuses reproductions de pages d'en-tête illustrées. Certes les idées exposées par le *Bergwerkbüchlein* sur la génération des minerais sont entièrement alchimiques mais on y trouve beaucoup de renseignements pratiques de valeur sur la terminologie, les instruments en usage pour les divers minerais ainsi que sur leur nature et leurs mélanges les plus courants. Le *Probierbüchlein* est d'un caractère essentiellement pratique et traite des balances, des poids, de l'échantillonnage, du titrage à la pierre de touche, des fours, des creusets, de la coupellation, du titrage des minerais et des diverses méthodes de séparation. Le travail de traduction et d'édition est admirablement exécuté; il y a aussi un index utile. Présentation et impression au-dessus de tout éloge. JOHN READ

Livres reçus

(*Note.* La mention à cette page n'exclut pas la possibilité de revue ultérieure.)

AGRICULTURE

WEST, T. F., et CAMPBELL, G. A. *D.D.T. and Newer Persistent Insecticides* (2e édition). Pp. 632 et 13 planches en demi-teintes. Chapman and Hall Limited, Londres. 1950. 50s.

BIOGRAPHIE

REED, HOWARD S. *Jan Ingenhousz, Plant Pathologist.* Pp. 396, avec plusieurs illustrations en demi-teintes. Chronica Botanica Co., Waltham, Mass.; Wm. Dawson and Sons Limited, Londres. 1950. 3 dollars.

BIOLOGIE

BUTLER, J. A. V. *Man is a Microcosm.* Pp. 151, avec diverses figures et demi-teintes. Macmillan and Company Limited, Londres. 1950. 10s. 6d.

New Biology — No. 9. Pp. 128, avec diverses illustrations en demi-teintes. Penguin Books, Harmondsworth. 1950. 1s. 6d.

STERN, CURT. *Principles of Human Genetics.* Pp. 617, avec des figures et demi-teintes. W. H. Freeman and Company, San Francisco. 1949. 41s.

WAKSMAN, SELMAN A. *The Actinomycetes.* Pp. 230, avec de nombreuses figures et demi-teintes. The Chronica Botanica Co., Waltham, Mass.; Wm. Dawson and Sons Limited, Londres. 1950. 5 dollars.

BOTANIQUE

TISCHLER, GEORGE. *Die Chromosomenzahlen der Gefässpflanzen Mitteleuropas.* Pp. 256. Dr W. Junk, La Haye. 1950. 42,50 florins.

CHIMIE

ALEXANDER, ELLIOT R. *Principles of Ionic Organic Reactions.* Pp. 318. John Wiley and Sons, New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1950. 44s.

CHEMICAL SOCIETY — *Annual Reports* 1949 (Volume 46). Pp. 333, avec des diagrammes linéaires. The Chemical Society, Londres. 1950. 25s.

KIRK, PAUL L. *Quantitative Ultramicroanalysis.* Pp. 310, avec des diagrammes linéaires. Chapman and Hall Limited, Londres. 1950. 40s.

MELLON, M. G. (rédacteur). *Analytical Absorption Spectroscopy.* Pp. 618 et de nombreuses figures et demi-teintes. John Wiley and Sons, New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1950. 72s.

PAULING, LINUS. *College Chemistry.* Pp. 705, illustrées de tableaux et de dessins. W. H. Freeman and Company, San Francisco. 1950. 34s.

WATERS, W. A. *Physical Aspects of Organic Chemistry.* Pp. 539 et divers diagrammes linéaires. Routledge and Kegan Paul Limited, Londres. 1950. 35s.

WILLIAMS, RUSSELL R., Jr. *Principles of Nuclear Chemistry.* Pp. 307 et de nombreux diagrammes linéaires. Van Nostrand Company Inc., New York; Macmillan and Company Limited, Londres. 1950. 28s. 6d.

GÉOCHIMIE

RANKAVA, KALERVO, et SAHAMA, TH. G. *Geochemistry.* Pp. 911. University of Chicago Press, Chicago; Cambridge University Press, Londres. 1950. £5 12s. 6d.

INDUSTRIE

BANGHAM, D. H. *Progress in Coal Science* (Progrès dans la science de la houille). Pp. 456, avec des figures et demi-teintes. Butterworth's Scientific Publications Limited, Londres. 1950. 40s.

BROOKS, BENJAMIN T., et DUNSTAN, A. E. (rédacteurs). *The Science of Petroleum* (Vol. v, Part 1) — *Crude Oils* (La science des pétroles — Pétroles bruts). Pp. 200, avec divers demi-teintes et diagrammes linéaires. Oxford University Press, Londres. 1950. 48s.

MÉDECINE

FISCHER, F. P., SCHAEFFER, A. J., et SCORSBY, ARNOLD (rédacteurs). *Documenta Ophthalmologica.* Pp. 362 et divers diagrammes linéaires. Dr W. Junk, La Haye. 1950. 36 florins.

PERRY, W. L. M. *The Design of Toxicity Tests* (Méthodes d'épreuves des toxiques). Pp. 51 et plusieurs diagrammes linéaires. His Majesty's Stationery Office, Londres. 1950. 1s. 6d.

PHYSIQUE

JACOB, MAX, et HAWKINS, GEORGE A. *Elements of Heat Transfer and Insulation* Pp. 230 et de nombreux diagrammes linéaires. John Wiley and Sons, New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1950. 32s.

JELLINEK, KARL. *Verständliche Elemente der Wellenmechanik.* Pp. 304 et divers diagrammes linéaires. Wepf et Cie., Bâle, Suisse. 1950. 34 francs suisses.

JELLINEK, KARL. *Weltsystem, Weltäther und die Relativitätstheorie.* Pp. 450 et plusieurs diagrammes linéaires. Wepf et Cie., Bâle, Suisse. 45 fr. suisses.

HAHN, OTTO. *New Atoms.* Pp. 183. Elsevier Publishing Company, Amsterdam; Cleaver-Hume Press Limited, Londres. 1950. 12s. 6d.

HARRISON, GEORGE R., LORD, RICHARD C., et LOOFBOUROW, JOHN R. *Practical Spectroscopy.* Pp. 605 et de nombreux diagrammes linéaires et en demi-teintes. Blackie and Son Limited, Londres et Glasgow. 1950. 35s.

HOPKINS, H. H. *Wave Theory of Aberrations.* Pp. 167, avec de nombreux diagrammes linéaires. Oxford University Press, Londres. 1950. 15s.

Interaction entre le Noyau et son Cortège électronique. Pp. 198, avec des croquis. Editions de la Revue d'Optique Théorique et Instrumentale, Paris. 1949.

SCHONLAND, B. F. J. *The Flight of Thunderbolts.* Pp. 152, avec divers dessins et demi-teintes. Oxford University Press, Londres. 1950. 15s.

WILKINSON, D. H. *Ionization Chambers and Counters.* Pp. 266, avec de nombreux diagrammes linéaires. Cambridge University Press, Londres. 1950. 25s.

SCIENCE GÉNÉRALE

ANSLEY, A. J. *An Introduction to Laboratory Technique* (2e édition). Pp. 288, avec de nombreux croquis et illustrations en demi-teintes. Macmillan and Company Limited, Londres. 1950. 16s.

BRITISH PHILOSOPHICAL SOCIETY (Vol. 1, No. 2). *The British Journal for the Philosophy of Science.* Pp. 172. Thomas Nelson and Sons, Limited, Edimbourg. 1950. 7s. 6d.

CRAMER, J. L. (Rédacteur-*en-chef*). *Science News No.* 17. Pp. 156, avec de nombreuses figures et demi-teintes. Penguin Books, Harmondsworth. 1950. 1s. 6d.

COLLIER, K. J. *The Science of Humanity.* Pp. 339. Thomas Nelson and Sons Limited, Edimbourg. 1950. 12s. 6d.

ROMAN, W. *The Scientist's Ready Reckoner* (L'aide-calcul du chercheur). Pp. 142. Dr W. Junk, La Haye. 1950. 6,50 florins.

Notes biographiques sur les collaborateurs

H. GODWIN

Né en 1901. Etudia à *Clare College*, Cambridge. Est professeur de botanique à Cambridge, secrétaire de la *British Ecological Society* et co-rédacteur du *New Phytologist*. En 1948 fut nommé Chef de la division de recherches quaternaires à l'Université de Cambridge.

A. G. GAYDON

Né en 1911. Fit ses études à l'*Imperial College* à Londres (1929–34) où il obtint ses diplômes de physique en 1932. Depuis 1937 il s'occupe dans ce même établissement de recherches sur les spectres moléculaires et les applications de la spectroscopie à la combustion. Livres publiés: *Spectroscopy and Combustion Theory* (1942, 2e édition corrigée 1948), *The Identification of Molecular Spectra* (en collaboration avec R. W. B. Pearse, 1941, 2e édition corrigée 1950), *Dissociation Energies and Spectra of Diatomic Molecules* (1947).

E. GLUECKAUF

Est né en 1906 et a fait ses études à l'Université et au *Technische Hochschule* de Berlin. Est depuis 1947 employé à l'Etablissement de recherche atomique à Harwell.

ANN R. SANDERSON

Prit ses grades à l'Université de St Andrews et enseigne actuellement la zoologie au Collège universitaire de Dundee, dépendant de la même université.

DAVID W. HALL

Est né en 1924 et fit ses études au collège d'Alloa. Obtint ses diplômes de science à l'Université de St Andrews. Est maître de conférences au Collège universitaire de Dundee.

FREDERICK H. POUGH

Né en 1906, étudia aux Universités de Washington et d'Harvard et à l'Institut Victor Goldschmidt à Heidelberg. Il est depuis 1945 Conservateur de géologie physique et de minéralogie au Musée américain d'Histoire naturelle.

V. B. WIGGLESWORTH

Est né en 1899 et a fait ses études au *Gonville and Caius College*, à Cambridge, ainsi qu'à *St Thomas's Hospital*, à Londres. En 1926 fut nommé maître de conférences d'entomologie médicale à la *London School of Hygiene and Tropical Medicine*. Il a publié un livre intitulé *The Principles of Insect Physiology*. Est depuis 1943 Directeur d'un service de physiologie des insectes dépendant de l'*Agricultural Research Council* et en 1945 devint aussi chargé de cours d'entomologie à l'Université de Cambridge.

D. McKIE

Est né en 1896. Entra au University College de Londres en 1920 et est maintenant chargé de cours d'Histoire de la Science à l'Université de Londres. Il est vice-président de la *British Society for the History of Science* et membre de la Commission désignée par l'Académie des Sciences pour la préparation d'une édition annotée de la correspondance de Lavoisier.

R. M. CALMAN

Est né à Londres en 1917 et a fait ses études à l'Université de Glasgow. Est actuellement Bactériologiste et Directeur-adjoint des *Bernhard Baron Memorial Research Laboratories* au *Queen Charlotte's Maternity Hospital* à Londres.

JOHN MURRAY

Est né en 1910. Fit ses études à *Emmanuel College*, à Cambridge et devint Pathologiste-adjoint au *Middlesex Hospital* en 1939. Est depuis 1947 Directeur des *Bernhard Baron Memorial Research Laboratories* au *Queen Charlotte's Maternity Hospital*, à Londres.